FLUKE ®

6100A

功率电能标准源

用户手册

PN 1887628
Version 3.0 September 2003
2003 年 9 月，V 3.0

目录

目录..i
第 1 章..1-1
概述和技术指标..1-1
1-1. 概述..1-2
1-2. 特性..1-2
1-3. 关于本手册..1-2
1-4. 如何使用本手册..1-3
1-5. 联系福禄克..1-3
1-6. 技术指标..1-4
1-7. 通用参数的技术指标..1-4
1-8. 幅值/频率限制..1-5
1-9. 开环和闭环工作..1-5
1-10. 电压技术指标..1-6
1-11. 电压量程限制和载荷..1-6
1-12. 正弦电压的幅值技术指标..1-6
1-13. 电压的直流和谐波幅值技术指标..1-7
1-14. 在保证输出稳定度时的最大容性负载..1-7
1-15. 电压失真和噪声..1-8
1-16. 电流技术指标..1-9
1-17. 电流量程限制..1-9
1-18. 负载调整参数的“加数”..1-9
1-19. 电流的正弦幅值技术指标..1-10
1-20. 电流直流和谐波电流幅值技术指标..1-11
1-21. 电流失真和噪声..1-12
1-22. 在保证输出稳定度时的最大感性负载..1-12
1-23. 电流端子上的电压..1-13
1-24. 量程限制和阻抗限制..1-13
1-25. 正弦波技术指标..1-13
1-26. 直流和谐波幅值技术指标..1-14
1-27. 电流端子上的电压、失真和噪声..1-14
1-28. 电流和电压相位角技术指标..1-15
1-29. 功率技术指标..1-16
1-30. 正弦 VA 技术指标..1-16
1-31. 正弦功率技术指标..1-16
1-32. 16Hz－69Hz，1.0 >功率因数 > 0.75..1-16
1-33. 16Hz－69Hz，0.75 >功率因数> 0.5..1-16
1-34. 16Hz－69Hz，0.5 >功率因数> 0.25..1-17
1-35. 69Hz－180Hz，1.0 >功率因数> 0.75..1-17
1-36. 69Hz－180Hz，0.75 >功率因数> 0.5..1-17
1-37. 69Hz－180Hz，0.5 >功率因数> 0.25..1-17
1-38. 180Hz－450Hz，1.0 >功率因数> 0.75..1-18

1-39. 180Hz－450Hz，0.75 >功率因数> 0.5 1-18
1-40. 180Hz－50Hz，0.5 >功率因数> 0.25 1-18
1-41. 功率因数< 0.25 1-18
1-42. 无功功率，功率因数< 0.25 1-18
1-43. 无功功率，0.25 >功率因数> 0.5 1-18
1-44. 无功功率，0.5 >功率因数> 0.75 1-18
1-45. 无功功率，功率因数> 0.75 1-19
1-46. 无功功率的计算方法 1-19
1-47. 闪变的技术指标 1-19
1-48. 电压和电流闪变的技术指标 1-19
1-49. Pst 指标准确度 1-20
1-50. 调制谐波的技术指标 1-20
1-51. 谐间波的技术指标 1-20
1-52. 骤升/骤降的技术指标 1-21
1-53. 多相运行 1-21
1-54. 电压通道和电压通道之间相位的技术指标 1-21
1-55. 通用技术指标 1-22
1-56. 输入电源 1-22
1-57. 尺寸 1-22
1-58. 环境 1-22
1-59. 安全 1-22
1-60. EMC 1-22
1-61. 确定非正弦波形的幅值技术指标 1-23
1-62. 非正弦波电压的例子 1-23
1-63. 视在功率准确度的计算 1-24
1-64. 视在功率的例子 1-24
1-65. 功率（P）准确度的计算 1-26
1-66. 功率的例子 1-26
1-67. 参考 1-28

第 2 章 安装 2-1
2-1. 概述 2-2
2-2. 拆箱和检查 2-2
2-3. 再次运输 6100A 2-2
2-4. 放置和上机架安装 2-2
2-5. 散热考虑 2-3
2-6. 电源电压 2-3
2-7. 连接电源 2-3
2-8. 连接 6101A 辅机 2-4
2-9. 相位设置 2-4

第 3 章 特性 3-1
3-1. 概述 3-2
3-2. 前面板 3-2
3-3. Windows™ 用户界面 3-5
3-4. 图形化用户界面主区域 3-5
3-5. 从前面板输入数据项 3-6
3-6. 利用外部键盘和鼠标输入数据 3-8
3-7. 输出通道选择 3-9

3-8. 输出控制 3-9
3-9. 后面板功能部件 3-10
第 4 章 前面板操作 4-1
4-1. 概述 4-2
4-2. 加电 4-2
4-3. 预热 4-2
4-4. 基本的设置程序 4-3
4-5. 总体系统设置 4-4
4-6. 频率 4-4
4-7. 电源锁定（Line locking） 4-4
4-8. 谐波编辑模式 4-4
4-9. 无功功率的计算 4-5
4-10. 相位的单位 4-5
4-11. 电压输出的 4 线连接或 2 线连接 4-5
4-12. 其它设置 4-6
4-13. 编辑模式 4-6
4-14. 直接模式 4-6
4-15. 延缓模式 4-6
4-16. 不能延缓的修改 4-7
4-17. 设置电压和电流波形 4-7
4-18. 谐波、直流和正弦波 4-8
4-19. 定义 4-8
4-20. 操作该功能 4-8
4-21. 6100A 的技术指标 4-8
4-22. 正弦/谐波模式 4-8
4-23. 设置谐波和直流 4-11
4-24. 谐间波 4-11
4-25. 定义 4-11
4-26. 操作该功能 4-11
4-27. 6100A 的技术指标 4-12
4-28. 设置谐间波 4-12
4-29. 调制谐波 4-13
4-30. 定义 4-13
4-31. 操作该功能 4-13
4-32. 6100A 的技术指标 4-13
4-33. 设置调制谐波 4-14
4-34. 骤降和骤升 4-14
4-35. 定义 4-14
4-36. 操作该功能 4-15
4-37. 6100A 的技术指标 4-15
4-38. 设置骤升/骤降 4-17
4-39. 闪变 4-19
4-40. 定义 4-19
4-41. 操作该功能 4-19
4-42. 6100A 的技术指标 4-19
4-43. 设置闪变 4-20
4-44. 复制和粘贴 4-20

4-45. 复制 4-20
4-46. 粘贴 4-20
第 5 章 程控操作 5-1
第 6 章 用户维护 6-1
6-1. 概述 6-2
6-2. 仪器可靠性测试 6-2
6-3. 设置和运行仪器可靠性测试 6-2
6-4. 修改用户密码 6-3
6-5. 操作保险丝 6-3
6-6. 清洁空气过滤网 6-5
6-7. 更换锂电池 6-6
第 7 章 校准 7-1
7-1. 校准方法 7-2
7-2. 幅值测量 7-2
7-3. 相位测量 7-2
7-4. 相位不确定度对功率准确度的影响 7-2
7-5. 实现全部准确度时所需的校准不确定度 7-3
7-6. 所需的电压幅值校准不确定度 7-3
7-7. 所需的电流幅值校准不确定度 7-3
7-8. 所需的相位校准不确定度 7-3
7-9. 所需的设备 7-4
7-10. 6100A 信号发生概述 7-5
7-11. 6100A 和 6101A 的独立性 7-5
7-12. 福禄克服务中心的校准系统 7-7
7-13. 校准系统的特性 7-9
7-14. 变换器 7-9
7-15. DMM 幅度误差的影响 7-9
7-16. DMM 幅度相位的影响 7-9
7-17. 电压至电压的相位不确定度 7-10
7-18. 电流至电压的相位不确定度 7-10
7-19. 调整概述 7-11
7-20. 校准调整的步骤 7-11
7-21. 进入到校准模式 7-11
7-22. 选择仪器配置 7-12
7-23. 确定 6100A/6101 的误差 7-13
7-24. 开始调整 7-13
7-25. 检定 7-13
7-26. 校准调整检定记录 7-14
7-27. 电压调整点 7-14
7-28. 电流调整点 7-15
7-29. 80A 选件（如果已安装）的电流调整点 7-16
7-30. 电流端子上电压的调整点 7-16
第 8 章 电能选件 8-1
8-1. 概述 8-2
8-2. 功能性概述 8-2
8-3. 工作原理 8-2
8-4. 限制 8-2

8-5. 电能技术指标........8-3
8-6. 脉冲输入........8-3
8-7. 脉冲和门信号输入........8-3
8-8. 脉冲输出........8-3
8-9. 门信号输出........8-3
8-10. 准确度........8-3
8-11. 测试周期........8-3
8-12. 使用电能选件的准备........8-4
8-13. 输入通道配置和电能表常数........8-5
8-14. 连接 MUT 和参考功率计........8-5
8-15. 电能的“类型”........8-5
8-16. 内部上拉电阻........8-5
8-17. 电能脉冲输出电能表常数和上拉........8-6
8-18. 进行测试........8-6
8-19. 测试模式........8-6
8-20. 自由运行模式........8-7
8-21. 计数/定时模式........8-7
8-22. 门控模式........8-8
8-23. 包模式........8-8
附录 术语表........9-1

有限保证和有限责任

每台福禄克的产品在正常使用和维护的情况下保证没有材料和工艺上的缺陷。产品的保证期为一年，从发运 之日起计算。零件、产品修理和维护的保证期为 90 天。此项保证的对象仅为原始购买者或者福禄克授权代理商的最终使用客户，并且不适用于保险丝、普通电池或者福禄克认为由于意外的或不正常的工作或管理状况而错误使用、经过改动、疏忽管理、受到污染或损坏的产品。福禄克保证软件将按照其功能技术指标牢靠地工作 90 天，并已经正确地记录在无缺陷的介质上。福禄克不保证软件没有错误或工作中无中断。

福禄克授权代理商应当只将此种对新的和未使用过的产品的保证延伸到最终使用客户，但无权代表福禄克做出更高的或不同的保证条件。只有从福禄克授权的销售渠道购买的产品或者当购买者已经支付了适当的国际价格时才能获得这种保证支持。当从一个国家购买的产品送到另一个国家进行修理时，福禄克保留向购买者开具修理/更换零件进口费用发票的权利。

福禄克的保证责任是有限的，对于在保证期之内退回到福禄克授权的维修中心的有缺陷的产品， 福禄克可以选择退还购买款项、免费修理或更换产品。

为获得保修，请与您最近的福禄克授权维修中心联系以得到返修授权信息。然后将该产品发送到该维修 中心，提供故障说明、并付邮资和保险费（FOB 目的地）。福禄克不承担运输中损坏的风险。保修之后，该产品将返还给购买者，并付运费（FOB 目的地）。如果福禄克认定故障是由于疏忽管理、错误使用、受到污染、经过改动、意外的或不正常的工作或管理状况，包括因超出产品规定的额定值使用而引起的过电压故障，或者正常的磨损和机械部件的破损而引起，福禄克将提供估计的修理费用并在得到授权之后才开始维修工作。修理之后，该产品将返还给购买者，并付运费。购买者则要支付修理费用和返程的运输费用（FOB 发运点）。

这种保证是购买者唯一的和专有的补救方法，并且可代替所有其它的保证条件、表述或默许的条款，包 括但不限于任何默许的保证条件或者为某种特定目的的商品性或适应性。福禄克对于由于任何理论原因引起的、任何特别的、间接的、意外的或后果性的损坏或丢失，包括数据丢失，都不承担责任。

由于某些国家或者州不允许对默许保证条款的限制，不允许排斥或者限制意外的或后果性的损失，对这 种保证的限制或排斥可能不适合于每一个购买者。如果本保证的任何条款被法院或其它的决策主管裁判机构判定为无效或不可实施，则这种判定将不影响任何其它条款的有效性或可实施性。

Fluke Corporation
P O Box 9090
Everett
WA 98206-9090
USA

Fluke Europe BV
P O Box 1186
5602 BD
Eindhoven
The Netherlands

Fluke Precision Measurement Ltd
Hurricane way
Norwich
NR6 6JB
UK

声明

在货物送达时，买方应该根据附带的装箱单仔细检查包装内部，如果发生短缺现象，应该在货物到达之日起的 30 天内通知福禄克公司，或者通知福禄克公司任何与订单不一致的情况。如果买主没有通知福禄克公司，则视为所交付货物与订单相符。

买方承担福禄克交付给承运方之后所有的仪器灭失或损害的风险。如果仪器在运输过程中发生损坏，**买方必须向承运方主张所有损害赔偿**。根据买方请求，福禄克将出具修复运输损坏所需的费用的评估证明。

福禄克公司非常乐意回答关于提高仪器使用价值的任何问题。请将问题或建议寄至：

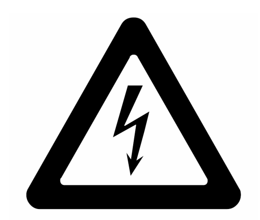
Fluke Precision Measurement Ltd,

Hurricane way, Norwich,

NR6 6JB, UK.

操作安全概述

警告



该仪器工作时使用有

高电压

在接线端子上可能会存在

致命电压

请遵守所有的安全防范措施

为了避免发生电击危险，无论仪器处于待机模式还是工作模式，操作者均不可与 **OUTPUT HI** 或 **SENSE HI** 接线柱以及连接到这些接线柱的任何导体建立电气接触。在工作期间，这些端子上可能会存在高达 **1430 Vpk** 的致命电压。

一般安全概述

该仪器按照以下标准设计和进行定型试验：

EN61010-1: 2001
UL61010A-1
CAN CSA 22.2 No 1010.1-92

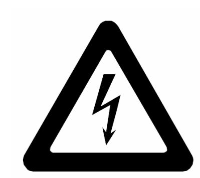
并且在交付时是安全的。

本手册中包含有保证仪器处于安全状态和确保安全工作所必须遵守的事项和警告信息。在非规定的条件下或方式操作或维修仪器可能会影响到安全性。为了正确、安全地使用该仪器，除了规定的安全措施之外，操作人员和维修人员还必须遵守通行可接受的安全程序。

为了避免发生伤害或火灾，如果仪器被损坏或者怀疑发生了故障，必须将仪器关闭。请勿在潮湿、多雨、水雾、粉尘或存在爆炸气体的环境中使用该仪器。

如果仪器的安全防护措施被削弱，必须将仪器置于无效状态，并且防止任何误操作。请立即通知有资质的维护或修理人员。例如，如果仪器存在可见的损坏或不能正常地工作，其安全防护措施就极有可能被削弱了。

关于安全标志和术语的说明



危险

电击危险

该标志表示危险电压（可能会出现大于交流 33Vrms 或 46.7 Vpk 或直流 70V 的电压）



注意

请参阅相应文档

该标志表示用户必须参阅仪器的手册进行相应操作

警告　警告信息说明会引起人身伤亡的状态或操作。

注意　注意信息说明会引起财产损害的状态或操作。

保护地（或接地）

保护等级 1——仪器在工作时必须通过交流电源电缆的保护地/接地线连接保护地/接地。当电源电缆插入到仪器后面板的交流电源插座时，必须保证保护地/接地线的连接先于交流电源火线和零线的连接。无论交流电源的最终连接是何种形式，都要保证保护地/接地线的连接先于交流电源火线和零线的连接。

如果因为某种原因不能在连接交流电源火线和零线之前连接保护地/接地线，或者输出端子会被连接到潜在的带电危险电路，仪器后面板上单独的保护地/接地连接就必须被连接到合适的保护地/接地端。

⚠ 警告

仪器内、外保护接地导体的任何中断都可能会使仪器发生危险。严禁故意断开。

电源线和电源的断开

前面板的电源开关是一个程控通/断开关，并不直接断开电源。电源的断开开关是仪器后面板的 ON/OFF 开关。即使仪器处于工作状态，ON/OFF 开关也应该非常容易接触到。如果不能满足这一条件，操作者则应该很方便地操作电源插头或安装一个很容易操作的电源断开装置。为了避免电击和火灾，请确保电源线没有损坏并且其标称值足以承受电网的熔断容量。如果电源线作为可接触到的断开装置，则其长度不得长于 3 米。

信号连接

为了避免电击危险，必须在连接好保护地/接地线之后再将信号连接到仪器，并且在断开保护地/接地线之前断开信号。也就是说，只要连接有信号线，就必须连接交流电源线。

⚠ 警告

为了避免人身伤亡，当信号线连接到或怀疑信号线被连接到任何危险的电压或电流源时，请勿将其进行连接或断开。

⚠ 警告

如果使用未经认可的信号连接线，则可能会影响到安全防护性能。如果信号连接线被损害，则不得使用。每台仪器都提供有电压和电流信号线，但是仅适于正确的使用。电流信号线不得连接到 6100A/6101A 的电压端子。

请勿在开机盖情况下使用

为避免电击危险，仪器不得在开机盖的情况下工作。仪器盖能有效防止用户接触到带电部件并且（除非特别说明）只有具有维护和修理资质的人才可将其打开。

⚠警告

打开仪器盖时可能会露出超过 2 kVpk 的电压，在仪器断开电源后长达 1 分钟的时间内都可能会出现这么高的电压，如果发生故障，时间可能会更长。

安全工作条件

仪器必须在制造商规定的工作条件下工作。必须要考虑的技术要求有：

仅供室内使用

环境温度

环境湿度

电源的电压和频率

最大的端电压或电流

海拔高度

环境污染等级

受到的冲击和振动

为避免电击或火灾，请勿将仪器置于超出技术指标范围的环境下。关于仪器及其工作条件的详细技术指标，请参考本手册的第一部分。



在评估环境温度时，应该考虑到太阳直射、散热器和其它热源等因素。

保险丝要求

6100A 和 6101A 需要额定电流为 15 A、额定分断容量为 750 A 的保险丝。保险丝的额定电压必须为 250 V AC。

在操作保险丝时，请确保电源是断开的，并遵守第 6 章介绍的程序。认可的保险丝如下：

福禄克部件编号及描述：	1998159	T15AH 250V 32mm
保险丝制造商及部件编号：	Bussmann	MDA-15

测量类别 I

测量端的设计满足测量（过压）类别 I 的连接。为避免电击或火灾，请勿将仪器的端子直接连接到交流电源或其它任何可能会瞬间超过仪器峰值额定值的电压或电流源。

维护和维修

在工作时请务必遵守当地或国家的安全规程和规范，防止发生意外事故或伤害。在打开仪器机盖之前，请将仪器从所有信号源以及交流电源断开。只有福禄克授权的技术人员才可对仪器进行调整、更换零件、维护或维修。

⚠ 警告

为了保持对伤害和火灾的防护能力，在更换涉及到安全性的零件时，请务必使用制造商提供的零件。在更换过涉及到安全性的零件之后，必须进行安全性测试。

通风和粉尘

仪器依靠侧面的通风孔进行强制通风。将仪器放置于水平的平面，并在仪器周围留出 100 mm（4″）的孔隙时，一般即可获得充足的空气流通。由于发生过热会损坏仪器，因此要注意避免阻碍仪器侧面的气流。仪器的设计满足 IP4X 的要求，技术指标满足污染等级 II 环境下的应用，这种环境在短时间的轻度凝结条件下不具有传导性。当发生凝结现象时，请勿使用仪器。在更加严重的粉尘或潮湿条件下请勿使用仪器。

清洁

请在清洁之前确保先后断开仪器信号线和电源线。可使用潮湿的无绒布清洁仪器面板和外壳。关于过滤网的详细信息，请参阅第 6 章。

请遵守本手册中介绍的其它安全警告或说明。

*第 **1** 章*

概述和技术指标

1-1. 概述

Fluke 6100A 功率电能标准源是一款校准测量电能幅值和质量的测量装置的精密仪器。利用 6100A 标准源，用户可以合成不规则的信号，包括电压谐波、谐间波、调制谐波、闪变、骤升/骤降。

可选的 Fluke 6101A 辅助功率标准单元将标准源的功能扩展到了第二相。可以根据需要增加相数，组建完整配置的四相（3 相加上中相（零线））系统。

功率电能标准源的技术指标在本章的尾部。

1-2. 特性

可溯源功率测量

1 到 4 个独立相可配置

每一相的电压和电流可完全单独控制

每相(“中”相限制于 33 V 真有效值)可提供 1 kV 电压和 21 A 电流(利用选件 6100A/80A 可提高到 80A)

可同时提供多达 100 个谐波

调制谐波和谐间波符合 IEC 61000-4-7 标准

闪变符合 IEC 61000-3-4 和 61000-4-15

同时发生的电能质量现象，满足 IEC 61000-4-30 和 IEEE P1159.1（草案）标准

用户可定义的测试信号

用户可选的无功功率计算方法

电流输出顺从电压>13 Vp

1-3. 关于本手册

本手册介绍了安装 6100A 功率电能标准源以及从前面板或程控进行操作的完整信息。同时还提供了术语表和详细的技术指标。本手册涵盖了以下主题：

安装

操作控制和特性

前面板操作

程控操作（IEEE-488.2）（中文说明书内无此内容）

利用软盘转存数据

用户维护，包括校准

1-4. 如何使用本手册

您应该首先阅读本手册前面章节的安全事项部分。

请利用以下清单查找特定信息的位置。

仪器技术指标：本章尾部

拆箱和设置：第 2 章

安装和机架安装：第 2 章

交流电源和接口电缆：第 2 章

连接 6101A 辅机：第 2 章

控制开关、指示器和显示屏：第 3 章

基本设置程序：第 4 章

前面板操作：第 4 章

输出电压和电流的连接：第 4 章

程控操作（IEEE-488.2）：第 5 章

用户维护：第 6 章

校准：第 7 章

1-5. 联系福禄克

关于福禄克产品、使用帮助、服务的信息或关于您当地最近的福禄克分销商或服务中心的信息，请拨打：

中国：+86-10-65123435

美国：1-888-99FLUKE (1-888-993-5853)

加拿大：1-800-36-FLUKE (1-800-363-5853)

欧洲：+31-402-678-200

日本：+81-3-3434-0181

新加坡：+65-738-5655

其它国家：+1-425-446-5500

福禄克全球网站：www.fluke.com

福禄克中文网站：www.fluke.com.cn

1-6. 技术指标

规定的准确度技术指标包括了福禄克服务中心给出的校准不确定度。以下的技术指标均是指在覆盖系数 *k*=2（等价于 95%的置信度）时，按照公认的计量实践获得的技术指标。

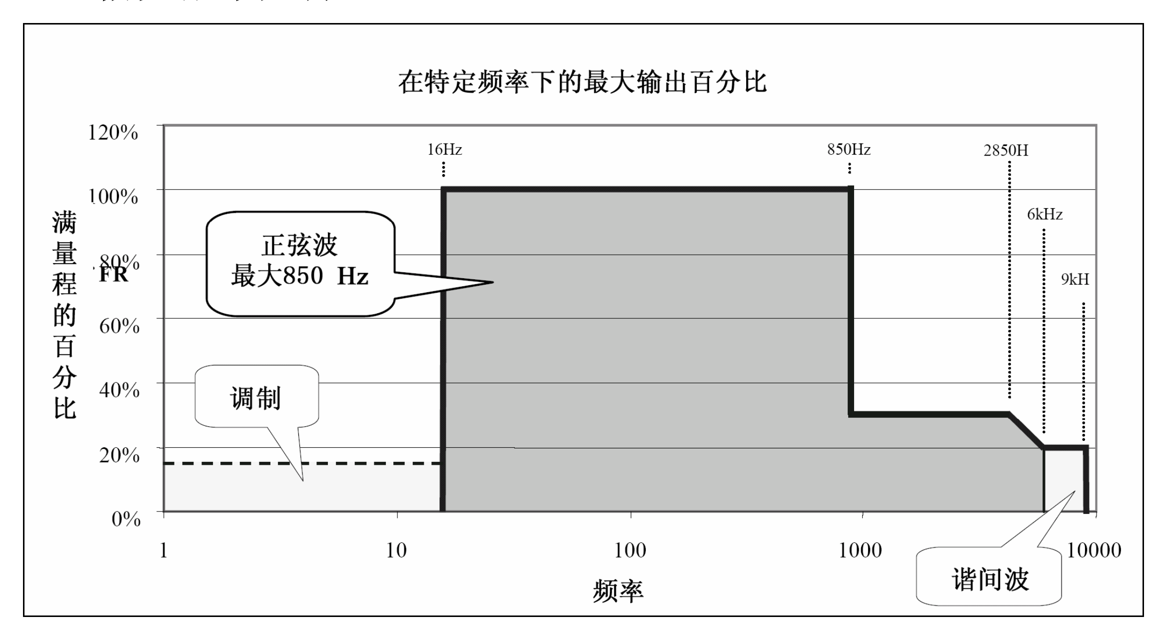
1-7. 通用参数的技术指标

电压/电流幅值设置分辨率	6 位
基波范围	16 Hz 至 850 Hz
电源频率锁定	45 Hz 至 65.9 Hz，由用户决定
频率准确度	50 ppm
频率设置分辨率	0.1 Hz
达到准确度所需预热时间	1 个小时，或停机时间的两倍
输出改变后的稳定时间	1.4 秒[2]
电压相之间的标称相位角	120°
同相的电压和电流之间的标称相位角	0°
相位角设置范围	±180 °，±π 弧度 [1]
相位角设置分辨率	0.001 °，0.00001 弧度[1]
电压谐波的最大数量	100 次谐波，含 1 次谐波（基波）
电流谐波的最大数量	100 次谐波，含 1 次谐波（基波）

[1] 如果相位设置单位在度和弧度之间切换，由于计算存在舍入误差，随后的数据可能会不一致。

[2] 21A 和 80A 量程的稳定时间（T_s）取决于真有效值输出与满量程的比例，可以用以下公式计算获得：$T_s = \%FR^2 \times 80$ 秒

1-8. 幅值/频率限制



[1] 如果安装了选件，80 A 范围的最小稳定基波为 40 Hz，最大谐波频率为 3 kHz。

[2] 尽管最小稳定基波为 16 Hz，但是受调制的波形可以产生低于该值的频率分量，包括直流。

[3] 除 80 A 之外，所有的电压和电流量程都可以增加最大至 50%量程的直流成分。

[4] 如果激活带宽限制功能，最大频率为 3 kHz（80 A 量程为 1.5 kHz）。

1-9. 开环和闭环工作

利用模拟和数字反馈系统（闭环）可以达到纯正弦波或正弦波加谐波的准确度。只要施加了以下任何电能质量现象：闪变、调制谐波、骤升/骤降或谐间波，数字系统就会自动退出耦合。初始性能同 1 年准确度栏中列出的参数，但是性能随时间的变化同稳定度栏中的参数。只要使已经激活的闪变、调制谐波、骤升/骤降、谐间波无效，或者改变了该通道的正弦波或任何谐波值后，就能立即恢复至仪器准确度。

1-10. 电压技术指标

1-11. 电压量程限制和载荷

满量程（FR）	16 V	33 V	78 V	168 V	336 V	1008 V
最大峰值[1][2]	22.6 V	46.6 V	110 V	237 V	475 V	1425 V
最大载荷（峰值电流）[3]	1.13 A	1.13 A	707 mA	311 mA	141 mA	71 mA

[1] 这些值适用于正弦波、失真波形和已调制波形。

[2] 电压谐波相位角显著地影响非正弦波形的峰值。

[3] 为在 4 线测量配置下达到技术指标，探测线中的电阻必须小于 1 Ω，电流线中的电阻必须小于 1.5 Ω。

1-12. 正弦电压的幅值技术指标

量程	频率	电压[5]	1 年准确度 tcal[4] ±5°C ±(ppm 输出+ mV) [1] [6]		“闭环”稳定度 ±(ppm 输出+ mV) 每小时[2]		“开环”稳定度 ±(ppm 输出+ mV) 每小时[2][3]	
1.0 V 至 16 V	16 Hz – 450 Hz	1.0 V – 6.4 V	122	1.0	40	0.8	200	0.8
		6.4 V – 16 V	112	1.0	40	0.4	200	0.8
	450 Hz – 850 Hz	1.0 V – 6.4 V	164	1.0	40	0.8	200	0.8
		6.4 V – 16 V	150	1.0	40	0.4	200	0.8
2.3 V 至 33 V	16 Hz – 450 Hz	2.3 V – 13.2 V	122	2.0	40	0.8	200	0.8
		13.2 V – 33 V	112	1.5	40	0.6	200	0.8
	450 Hz – 850 Hz	2.3 V – 13.2 V	164	2.0	40	0.8	200	0.8
		13.2 V – 33 V	150	1.5	40	0.6	200	0.8
5.6 V 至 78 V	16 Hz – 450 Hz	5.6 V – 31 V	122	2.0	40	0.8	200	0.8
		31 V – 78 V	112	2.0	40	0.6	200	0.8
	450 Hz – 850 Hz	5.6 V – 31 V	164	2.0	40	0.8	200	0.8
		31 V – 78 V	150	2.0	40	0.6	200	0.8
11V 至 168 V	16 Hz – 450 Hz	11 V – 67 V	122	4.4	40	1.5	200	1.5
		67 V – 168 V	112	4.4	40	1.5	200	1.5
	450 Hz – 850 Hz	11 V – 67 V	164	4.4	40	1.5	200	0.8
		67 V – 168 V	150	4.4	40	1.5	200	0.8
23 V 至 336 V	16 Hz – 450 Hz	23 V – 134 V	122	8.8	40	3.0	200	3.0
		134 V – 336 V	112	8.8	40	3.0	200	3.0
	450 Hz – 850 Hz	23 V – 134 V	164	8.8	40	3.0	200	0.8
		134 V – 336 V	150	8.8	40	3.0	200	0.8
70V 至 1008 V	16 Hz – 450 Hz	70 V – 330 V	166	26	100	10	200	10
		330 V – 1008 V	158	26	100	10	200	10
	450 Hz – 850 Hz	70 V – 330 V	190	26	100	10	200	10
		330 V – 1008 V	175	26	100	10	200	10

[1] 仅限 4 线测量方式，对于两线工作方式，准确度技术指标需要另外增加电压＝0.3Ω×最大负载电流

[2] 指± 1°C、恒定负载和连接状态

[3] 当应用了闪变、调制谐波、骤升/骤降或谐间波时，在 1 年准确度指标上必须加上“开环”稳定度指标，如 1-9 部分介绍。

[4] tcal = 上次校准时的温度。

[5] 可以设置小于范围最小值的输出电平，但是未规定指标。

[6] 这些技术指标默认为使用“采样法”测量仪器。一些真有效值测量仪器可能具有若干 MHz 的电压输入带宽，对于真有效值测量装置，应该用表 1-15 中非谐波本底噪声扩展 6100A 的技术指标。

1-13. 直流电压和谐波幅值技术指标

量程	输出[4][5]	频率	1 年准确度 tcal[6] ±5°C ±(ppm 输出+ mV) [1]		“闭环”稳定度 ±(ppm 输出+ mV) 每小时 [2]		“开环”稳定度 ±(ppm 输出+ mV) 每小时 [2][3]	
1.0 V 至 16 V	0 V – 8 V	DC	122	5.0	40	1.8	200	1.8
	0 V – 4.8 V	16 Hz – 450 Hz	122	1.0	40	0.8	200	0.8
		450 Hz – 850 Hz	164	1.0	40	0.8	200	0.8
		850 Hz – 6 kHz	512	1.0	60	0.8	400	0.8
2.3 V 至 33 V	0 V – 16.5 V	DC	122	10	40	3.3	200	3.3
	0 V - 9.9 V	16 Hz – 450 Hz	122	2.0	40	0.8	200	0.8
		450 Hz – 850 Hz	164	2.0	40	0.8	200	0.8
		850 Hz – 6 kHz	512	2.0	60	0.8	400	0.8
5.6 V 至 78 V	0 V – 39 V	DC	122	24	40	8.0	200	8.0
	0 V - 23 V	16 Hz – 450 Hz	122	2.0	40	0.8	200	0.8
		450 Hz – 850 Hz	164	2.0	40	0.8	200	0.8
		850 Hz – 6 kHz	512	2.0	60	0.8	400	0.8
11V 至 168 V	0 V – 84 V	DC	122	50	40	15	200	15
	0 V - 50 V	16 Hz – 450 Hz	122	4.4	40	1.5	200	1.5
		450 Hz – 850 Hz	164	4.4	40	1.5	200	1.5
		850 Hz – 6 kHz	512	4.4	60	1.5	400	1.5
23 V 至 336 V	0 V – 168 V	DC	122	100	40	30	200	30
	0 V - 100 V	16 Hz – 450 Hz	122	12.0	40	3.0	200	3.0
		450 Hz – 850 Hz	164	12.0	40	3.0	200	3.0
		850 Hz – 6 kHz	512	12.0	60	3.0	400	3.0
70V 至 1008 V	0 V – 504 V	DC	166	300	100	100	200	100
	0V - 302 V	16 Hz – 450 Hz	166	33	100	10	200	10
		450 Hz – 850 Hz	190	33	100	10	200	10
		850 Hz – 6 kHz	524	33	150	10	450	10

[1] 仅限 4 线测量方式，对于两线工作方式，准确度技术指标需要另外增加电压＝0.3Ω×最大负载电流

[2] 指± 1°C、恒定负载和连接状态

[3] 当应用了闪变、调制谐波、骤升/骤降或谐间波时，在 1 年准确度指标上必须加上“开环”稳定度指标，如 1-9 部分介绍。

[4] 这些技术指标仅适用于复合电压真有效值输出大于量程最小值时。如果复合输出低于量程最小值，对详细的输出技术指标未做规定。

[5] 低于 2850 Hz 的单次谐波（2 次到 100 次）的最大值为量程的 30%。关于高于 2850 Hz 以上的情况，请参见 1-8 部分。

[6] tcal = 上次校准 6100A 时的温度。

1-14. 在保证输出稳定度时的最大容性负载

在 100 nF 负载时电压的输出可保持稳定，但是由于受负载电流的限制，并不能在所有电压/频率/谐波组合下都能驱动这样大的电容。

1-15. 电压失真和噪声

		最大谐波失真 [1]				非谐波本底噪声（相对于满量程）	
		两项中的较大者		两项中的较大者		16Hz 至 4MHz	
满量程	Frequency 频率	dB	电压	% 设置	% 量程	dB	%
16 V	16 Hz – 850 Hz	-76	480 uV	0.016	0.003	-66	0.05
	850 Hz – 6 kHz	-52	2.4 mV	0.25	0.015	-66	0.05
33 V	16 Hz – 850 Hz	-76	990 uV	0.016	0.003	-70	0.032
	850 Hz – 6 kHz	-52	5.0 mV	0.25	0.015	-70	0.032
78 V	16 Hz – 850 Hz	-76	2.3 mV	0.016	0.003	-72	0.025
	850 Hz – 6 kHz	-52	11 mV	0.25	0.015	-72	0.025
168 V	16 Hz – 850 Hz	-76	5.0 mV	0.016	0.003	-76	0.016
	850 Hz – 6 kHz	-52	25 mV	0.25	0.015	-76	0.016
336 V	16 Hz – 850 Hz	-76	10 mV	0.016	0.003	-66	0.05
	850 Hz – 6 kHz	-52	50 mV	0.25	0.015	-66	0.05
1008 V	16 Hz – 850 Hz	-76	30 mV	0.016	0.003	-60	0.10
	850 Hz – 6 kHz	-52	151 mV	0.25	0.015	-60	0.10

[1] 在 850 至 6 kHz 之间，dB 谐波失真线性增加

1-16. 电流技术指标

选件 6100A/80A 为 6100A 和 6101A 功率标准源增加了 80 A 量程。如果没有选件 6100A/80A，最大输出电流为 21A 真有效值。

1-17. 电流量程限制

满量程（FR）	0.25 A	0.5 A	1 A	2 A	5 A	10 A	21 A	80 A
最大峰值[1][2]	0.353 A	0.707 A	1.414 A	2.828 A	7.07 A	14.14 A	29.7 A	113 A
在满度 (Vpk)的最大顺从电压[3]	14 V	14 V	14 V	14 V	14 V	14 V	12.5 V	2 V

[1] 这些值适用于正弦波、失真波形和被调制波形。

[2] 电流谐波相位角显著影响非正弦波形的峰值。

[3] 高于 450Hz 时，仪器将产生能够在负载端产生最大顺从电压的电流输出，需要在表 1-20 和 1-21 中的准确度技术指标上增加一个“加数”。“加数”的计算方法在下面介绍。

1-18. 负载调整率的“加数”

电流放大器的有限输出阻抗会引起“负载调整”效应，必须加以考虑。设 V_F 为在频率 F 下，电流 I_F 在负载两端产生的峰值电压。设 I_{FR} 为最大电流，V_{max} 为在此范围内的最大顺从峰值电压。

如果 $V_F / V_{max} < I_F / I_{FR}$，则无需加数；否则，则按以下方法计算加数：

如果 $V_F / V_{max} > I_F / I_{FR}$，则加数为：$\dfrac{I_{FR} \times F \times V_F}{20 \times V_{\max}} \mu A$

例子：输出为在 5A 量程下的 800 Hz，0.5 A 真有效值正弦波。从 1-19 部分可获得电流技术指标为：

182 ppm + 120 μA = 91 μA + 120 μA

输出两端的电压为 $6V_P$，最大顺从电压为 14 V，也就是说：$V_F / V_{max} > I_F / I_{FR}$。“加数”为：

$$\frac{5 \times 800 \times 6}{20 \times 14} = 85 \mu A$$

电流技术指标变为：

91 μA + 120 μA + 85 μA = 296 μA

1-19. 正弦电流的幅值技术指标

量程	频率	电流[4]	1 年准确度 tcal [3] ±5°C ±(ppm 输出 + μA) [5]		“闭环”稳定度 ±(ppm 输出+ μA) 每小时 [1]		“开环”稳定度 ±(ppm 输出+ μA) 每 小时 [1][2]	
0.01 A - 0.25 A	16 Hz – 450 Hz	0.01 A – 0.1 A	139	6	50	3	240	3
		0.1 A – 0.25 A	130	6	50	3	240	3
	450 Hz – 850 Hz	0.01 A – 0.1 A	182	6	50	3	360	3
		0.1 A – 0.25 A	170	6	50	3	360	3
0.05 A - 0.5 A	16 Hz – 450 Hz	0.05 A – 0.2 A	139	12	50	5	240	5
		0.2 A – 0.5 A	130	12	50	5	240	5
	450 Hz – 850 Hz	0.05 A – 0.2 A	182	12	50	5	360	5
		0.2 A – 0.5 A	170	12	50	5	360	5
0.1 A -1 A	16 Hz – 450 Hz	0.1 A – 0.4 A	139	24	50	10	240	10
		0.4 A – 1 A	130	24	50	10	240	10
	450 Hz – 850 Hz	0.1 A – 0.4 A	182	24	50	10	360	10
		0.4 A – 1 A	170	24	50	10	360	10
0.2 A - 2 A	16 Hz – 450 Hz	0.2 A – 0.8 A	139	48	50	20	240	20
		0.8 A – 2 A	130	48	50	20	240	20
	450 Hz – 850 Hz	0.2 A – 0.8 A	182	48	50	20	360	20
		0.8 A – 2 A	170	48	50	20	360	20
0.5 A - 5 A	16 Hz – 450 Hz	0.5 A – 2 A	139	120	50	50	240	50
		2 A – 5 A	130	120	50	50	240	50
	450 Hz – 850 Hz	0.5 A – 2 A	182	120	50	50	360	50
		2 A – 5 A	170	120	50	50	360	50
1 A - 10 A	16 Hz – 450 Hz	1 A – 4 A	191	240	70	100	280	100
		4 A – 10 A	164	240	70	100	280	100
	450 Hz – 850 Hz	1 A – 4 A	267	240	70	100	420	100
		4 A – 10 A	250	240	70	100	420	100
2 A - 21 A	16 Hz – 450 Hz	2 A – 8 A	213	720	90	300	320	300
		8 A – 21 A	189	720	90	300	320	300
	450 Hz – 850 Hz	2 A – 8 A	267	720	90	300	480	300
		8 A – 21 A	250	720	90	300	480	300
8 A – 80 A	40 Hz – 450 Hz	8A – 32 A	265	2800	120	1200	1000	1200
		32 A – 80 A	250	2800	120	1200	1000	1200
	450 Hz – 850 Hz	8 A – 32 A	300	2800	120	1200	1000	1200
		32 A – 80 A	280	2800	120	1200	1000	1200

[1] 指± 1°C、恒定负载和连接状态

[2] 当应用了闪变、调制谐波、骤升/骤降或谐间波时，在 1 年准确度指标上必须加上“开环”稳定度指标，如 1-9 部分介绍。

[3] tcal =上次校准 6100A 时的温度。

[4] 可以设置小于范围最小值的输出电平，但是未规定指标。

[5] 这些技术指标默认适用于“采样法”测量仪器。一些真有效值测量仪器可具有若干 MHz 的电压输入带宽，对于真有效值测量装置，应该用表 1-15 中非谐波本底噪声扩展 6100A 的技术指标。

1-20. 直流电流和谐波电流幅值技术指标

量程	输出[4][5]	频率	1 年准确度 tcal [1] ±5°C ±(ppm 输出 + μA)		“闭环”稳定度 ±(ppm 输出+ μA) 每小时 [1]		“开环”稳定度 ±(ppm 输出+ μA) 每小时[1][2]	
0.01 A - 0.25 A	0 A – 0.125 A	DC	139	75	50	11	240	11
	0 A – 0.075 A	16 Hz – 450 Hz	139	6	50	3	240	3
		450 Hz – 850 Hz	182	6	50	3	360	3
		850 Hz – 6 kHz	505	6	100	3	1000	3
0.05 A - 0.5 A	0 A – 0.25 A	DC	139	150	50	22	240	22
	0 A – 0.15 A	16 Hz – 450 Hz	139	12	50	5	240	5
		450 Hz – 850 Hz	182	12	50	5	360	5
		850 Hz – 6 kHz	505	12	100	5	1000	5
0.1A -1 A	0 A – 0.5 A	DC	139	300	50	45	240	45
	0 A – 0.3 A	16 Hz – 450 Hz	139	24	50	10	240	10
		450 Hz – 850 Hz	182	24	50	10	360	10
		850 Hz – 6 kHz	505	24	100	10	1000	10
0.2A - 2 A	0 A – 1 A	DC	139	600	50	90	240	90
	0 A – 0.6 A	16 Hz – 450 Hz	139	48	50	20	240	20
		450 Hz – 850 Hz	182	48	50	20	360	20
		850 Hz – 6 kHz	505	48	100	20	1000	20
0.5A - 5 A	0 A – 2.5 A	DC	139	1500	50	225	240	225
	0 A – 1.5 A	16 Hz – 450 Hz	139	120	50	50	240	50
		450 Hz – 850 Hz	182	120	50	50	360	50
		850 Hz – 6 kHz	505	120	100	50	1000	50
1 A - 10 A	0 A – 5 A	DC	191	3000	70	450	280	450
	0 A – 3 A	16 Hz – 450 Hz	191	240	70	100	280	100
		450 Hz – 850 Hz	267	240	70	100	420	100
		850 Hz – 6 kHz	519	240	110	100	1100	100
2 A - 21 A	0 A – 10 A	DC	213	6000	90	900	320	900
	0 A - 6 A	16 Hz – 450 Hz	213	720	90	300	320	300
		450 Hz – 850 Hz	267	720	90	300	480	300
		850 Hz – 6 kHz	665	720	120	300	1300	300
8 A – 80 A	0 A – 24 A	40 Hz – 450 Hz	265	2800	120	1200	1000	1200
		450 Hz – 850 Hz	300	2800	120	1200	1000	1200
		850 Hz – 3 kHz	690	2800	150	1200	2000	1200

[1] tcal =上次校准 6100A 时的温度。

[2] 指± 1°C、恒定负载和连接状态

[3] 当应用了闪变、调制谐波、骤升/骤降或谐间波时，在 1 年准确度指标上必须加上“开环”稳定度指标，如 1-9 部分介绍。

[4] 这些技术指标仅适用于复合电压真有效值输出大于量程最小值时。如果复合输出低于量程最小值，对输出技术指标未做规定。

[5] 低于 2850 Hz 的单次谐波（2 次到 100 次）的最大值为量程的 30%。关于高于 2850 Hz 以上的情况，请参见 1-8 部分。

1-21. 电流失真和噪声

满量程	频率	最大谐波失真[1]				非谐波本底噪声（相对于满量程）	
		两项中的较大者		两项中的较大者		16Hz 至 4MHz	
		dB	A	% 设置	% 量程	dB	%
0.25 A	16 Hz – 850 Hz	-80	7.5 µA	0.010	0.003	-50	0.316
	850 Hz – 6 kHz	-60	25 µA	0.100	0.010	-50	0.316
0.5 A	16 Hz – 850 Hz	-80	15 µA	0.010	0.003	-60	0.100
	850 Hz – 6 kHz	-60	50 µA	0.100	0.010	-60	0.100
1 A	16 Hz – 850 Hz	-80	30 µA	0.010	0.003	-60	0.100
	850 Hz – 6 kHz	-60	100 µA	0.100	0.010	-60	0.100
2 A	16 Hz – 850 Hz	-80	60 µA	0.010	0.003	-65	0.056
	850 Hz – 6 kHz	-60	200 µA	0.100	0.010	-65	0.056
5 A	16 Hz – 850 Hz	-80	150 µA	0.010	0.003	-65	0.056
	850 Hz – 6 kHz	--60	500 µA	0.100	0.010	-65	0.056
10 A	16 Hz – 850 Hz	-80	300 µA	0.010	0.003	-50	0.316
	850 Hz – 6 kHz	-60	1.0 mA	0.100	0.010	-50	0.316
21 A	16 Hz – 850 Hz	-80	600 µA	0.010	0.003	-50	0.316
	850 Hz – 6 kHz	-60	2.0 mA	0.100	0.010	-50	0.316
80A	16 Hz – 850 Hz	-80	2.4 mA	0.100	0.003	-70	0.032
	850 Hz – 3 kHz	-60	8.0 mA	0.100	0.010	-70	0.032

[1] 在 850Hz 至 6kHz 之间，dB 谐波失真线性增加

1-22. 保证输出稳定时的最大感性负载

满量程（FR）	0.25 A	0.5 A	1 A	2 A	5 A	10 A	21 A	80A
最大感性负载，高带宽[1]	300 µH	300 µH	300 µH	300 µH	300 µH	45 µH	100 µH	30 µH
最大感性负载，低带宽 [2]	2 mH	2 mH	1 mH	1 mH	500 µH	360 µH	500 µH	250 µH

[1] 在所列感性负载下，电流输出可保持稳定，但是由于受电压负载的限制，并不能在所有电流/频率/谐波组合下都能驱动该感性负载。

[2] 除了 80A 量程之外，低带宽模式下所有量程内的最大频率均为 3 kHz；80A 量程的低带宽模式最大频率为 1.5 kHz。

1-23. 电流输出端子上的电压

1-24. 量程限制和阻抗限制

满量程（FR）	0.25 V	1.5 V	10 V
最大峰值[1][2]	0.353 V	2.121 V	14.14 V
源阻抗	1 Ω	6.67 Ω	40.02 Ω
维持技术指标的最小负载阻抗[3]	25 kΩ	170 kΩ	1 MΩ

[1] 这些值适用于正弦波、失真波形和被调制波形。

[2] 谐波相位角显著影响非正弦波形的峰值。

[3] 对于小于规定值的负载，按照源阻抗和负载阻抗的并联组合计算误差。

1-25. 电流正弦波技术指标

量程	频率	输出成分[3]	1 年准确度 tcal [4] ±5°C ±(ppm 输出+ uV) [5]		“闭环”稳定度 ±(ppm 输出+ uV) 1 小时[1]		“开环”稳定度 ±(ppm 输出+ uV)，1 小时[1][2]	
0.05 V - 0.25 V	16 Hz – 450 Hz	0.05 V – 0.1 V	200	30	50	15	240	15
		0.1 V – 0.25 V	200	30	50	15	240	15
	450 Hz – 850 Hz	0.05 V – 0.25 V	231	30	50	15	240	15
0.15 V - 1.5 V	16 Hz – 450 Hz	0.15 V – 0.6 V	200	50	50	25	240	25
		0.6 V – 1.5 V	200	40	50	20	240	25
	450 Hz – 850 Hz	0.15 V – 1.5 V	231	50	50	25	240	25
1 V – 10 V	16 Hz – 450 Hz	1 V – 4 V	200	300	50	150	240	150
		4 V – 10 V	200	240	50	120	240	150
	450 Hz – 850 Hz	1 V – 10 V	231	300	50	150	240	150

[1] 指± 1°C、恒定负载和连接状态

[2] 当应用了闪变、调制谐波、骤升/骤降或谐间波时，在 1 年准确度指标上必须加上“开环”稳定度指标，如 1-9 部分介绍。

[3] 可以设置小于量程最小值的输出电平，但是未规定指标。

[4] 上次校准 6100A 时的温度。

[5] 这些技术指标默认适合“采样法”测量仪器。一些真有效值测量仪器具有数 MHz 的电压输入带宽。对于真有效值测量装置，应该用表 1-15 中非谐波本底噪声来扩展 6100A 的技术指标。

1-26. 直流电流和谐波电流的幅值技术指标

量程	输出[4][5]	频率	1 年准确度 tcal [1] ±5°C ±(ppm 输出 + μV)		“闭环”稳定度 ±(ppm 输出+ μV) 每小时[1]		“开环稳定度” ±(ppm 输出+ μV) 每小时 [1][2]	
0.05 V - 0.25 V	0 V – 0.125 V	DC	231	75	50	15	240	15
	0 V – 0.075 V	16 Hz – 450 Hz	200	30	50	15	240	15
		450 Hz – 850 Hz	231	30	50	15	240	15
		850 Hz – 6 kHz	1000	30	100	15	1000	15
0.15 V - 1.5 V	0 V – 0.75 V	DC	231	450	50	75	240	75
	0 V – 0.45 V	16 Hz – 450 Hz	200	50	50	25	240	25
		450 Hz – 850 Hz	231	50	50	25	240	25
		850 Hz – 6 kHz	1000	50	100	25	1000	25
1 V – 10 V	0 V – 5 V	DC	231	3000	50	450	240	450
	0 V – 3 V	16 Hz – 450 Hz	200	300	50	150	240	150
		450 Hz – 850 Hz	231	300	50	150	240	150
		850 Hz – 6 kHz	1000	300	100	150	1000	150

[1] tcal =上次校准 6100A 时的温度。

[2] 指± 1°C、恒定负载和连接状态

[3] 当应用了闪变、调制谐波、骤升/骤降或谐间波时，在 1 年准确度指标上必须加上“开环”稳定度指标，如 1-9 部分介绍。

[4] 这些技术指标仅适用于复合电压真有效值输出大于量程最小值时。如果复合输出低于量程最小值，则对输出技术指标未做规定。

[5] 低于 2850 Hz 的单次谐波（2 次到 100 次）的最大值为量程的 30%。关于高于 2850 Hz 以上的情况，请参见 1-8 部分。

1-27. 电流输出端子上的电压、失真和噪声

		最大谐波失真[1]				非谐波本底噪声（相对于满量程）	
满量程	频率	两项中的较大者		两项中的较大者		16Hz 至 4MHz	
		dB	电压	% 设置	% 量程	dB	%
0.25 V	16 Hz – 850 Hz	-80	2.5 μV	0.010	0.001	-50	0.316
	850 Hz – 6 kHz	-60	25 μV	0.100	0.01	-50	0.316
1.5 V	16 Hz – 850 Hz	-80	15 μV	0.010	0.001	-60	0.100
	850 Hz – 6 kHz	-60	150 μV	0.100	0.01	-60	0.100
10 V	16 Hz – 850 Hz	-80	100 μV	0.010	0.001	-60	0.100
	850 Hz – 6 kHz	-60	1 mV	0.100	0.01	-60	0.100

[1] 在 50 Hz 至 6 kHz 之间，dB 谐波失真线性增加

1-28. 电流和电压相位角技术指标

注：对于电流输出端子上的电压相位角技术指标，使用电流和电压相位角技术指标中 0.25 A 到 5 A 量程的技术指标。

对于所有的电压量程（16 V 至 1008V）		对于大于 40%量程的电压和电流成分		对于 0.5%至 40%量程的电压或电流成分[5]	
电流量程	频率	1 年准确度 tcal [4] ±5°C [1][2]	稳定度 每小时[2][3]	1 年准确度 tcal ±5°C [1][2]	稳定度 每小时 [2][3]
0.25 A 至 5 A	16 Hz – 69 Hz	0.003°	0.0002°	0.010°	0.001°
	69 Hz – 180 Hz	0.005°	0.0002°	0.017°	0.002°
	180 Hz – 450 Hz	0.015°	0.0005°	0.050°	0.005°
	450Hz – 850 Hz	0.030°	0.0008°	0.070°	0.018°
	850 Hz – 3 kHz	0.150°	0.0010°	0.200°	0.100°
	3 kHz – 6 kHz	0.300°	0.0010°	0.450°	0.100°
5 A 至 21 A	16 Hz – 69 Hz	0.004°	0.0003°	0.013°	0.002°
	69 Hz – 180 Hz	0.007°	0.0003°	0.023°	0.004°
	180 Hz – 450 Hz	0.020°	0.0005°	0.065°	0.010°
	450Hz – 850 Hz	0.040°	0.0008°	0.080°	0.020°
	850 Hz – 3 kHz	0.200°	0.0015°	0.250°	0.100°
	3 kHz – 6 kHz	0.400°	0.0020°	0.600°	0.150°
20 A 至 80 A	16 Hz – 69 Hz	0.004°	0.0005°	0.016°	0.003°
	69 Hz – 180 Hz	0.008°	0.0005°	0.028°	0.005°
	180 Hz – 450 Hz	0.025°	0.0010°	0.080°	0.015°
	450Hz – 850 Hz	0.050°	0.0015°	0.100°	0.030°
	850 Hz – 3 kHz	0.250°	0.0020°	0.300°	0.150°

[1] 相对于 L1 电压的相位误差

[2] 对功率准确度的相位角影响随设置的相位角而变化，请参见以下的 1-29 部分

[3] 指恒定负载和连接状态

[4] tcal =上次校准 6100A 时的温度。

[5] 当输出成分接近数字反馈系统的分辨率极限时，在小于满量程的 0.5%时的相位性能会发生退化。

1-29. 功率技术指标

以下功率技术指标的例子仅适用于电压和电流的真有效值值大于量程的 40%以及频率低于 450 Hz 的情况。当 6100A/6101A 的电压或电流通道应用了闪变、调制谐波、骤升/骤降或谐间波中的任何一项时，指标不再适用。

1-30. 正弦 VA 技术指标

下表以 ppm 为单位列出了在正弦条件下给定电压和电流范围的最小至最大 VA 准确度。

电压量程 / 电流设置	16 V (6.4－16 V)	33 V (13.2 － 33 V)	78 V (31 － 78 V)	168 V (67 － 168 V)	336 V (134 － 336V)	1008 V (330 － 1008 V)
0.1 － 5 A	233 － 329	220 － 295	206 － 259	207 － 260	207 － 260	240 － 304
5.1 － 10 A	256 － 341	245 － 309	233 － 275	233 － 276	233 － 276	263 － 317
10.1 － 21 A	284 － 373	274 － 344	263 － 314	264 － 315	264 － 315	290 － 352
20.1 － 80 A	347 － 485	339 － 463	330 － 441	330 － 442	330 － 442	352 － 469

1-31. 正弦功率技术指标

下表以 ppm 为单位列出了在正弦条件下规定电压和电流范围的最小至最大功率准确度。

1-32. 16Hz－69Hz，1.0 >功率因数 > 0.75

电压量程 / 电流设置	16 V (6.4 － 16 V)	33 V (13.2 － 33 V)	78 V (31 － 78 V)	168 V (67 － 168 V)	336 V (134 － 336V)	1008 V (330 － 1008 V)
0.1 － 2 A	237 － 323	225 － 288	212 － 252	212 － 253	212 － 253	244 － 297
2.1 － 5 A	241 － 333	229 － 299	215 － 264	216 － 265	216 － 265	248 － 308
5.1 － 10 A	264 － 347	253 － 315	241 － 282	241 － 283	241 － 283	270 － 323
10.1 － 21 A	291 － 378	281 － 350	270 － 320	271 － 321	271 － 321	297 － 357
20.1 － 80 A	398 － 489	391 － 467	383 － 445	384 － 446	384 － 446	402 － 473

1-33. 16Hz－69Hz，0.75 >功率因数> 0.5

电压量程 / 电流设置	16 V (6.4 － 16 V)	33 V (13.2 － 33 V)	78 V (31 － 78 V)	168 V (67 － 168 V)	336 V (134 － 336V)	1008 V (330 － 1008 V)
0.1 － 2 A	250 － 332	238 － 299	225 － 264	226 － 264	226 － 264	257 － 307
2.1 － 5 A	262 － 349	251 － 317	239 － 284	240 － 285	240 － 285	269 － 325
5.1 － 10 A	283 － 362	273 － 332	262 － 300	263 － 301	263 － 301	290 － 340
10.1 － 21 A	309 － 393	300 － 365	290 － 337	290 － 337	290 － 337	315 － 372
20.1 － 80 A	411 － 500	404 － 478	397 － 457	397 － 458	397 － 458	416 － 484

1-34. 16Hz —69Hz，0.5 >功率因数> 0.25

电压量程	16 V	33 V	78 V	168 V	336 V	1008 V
电流设置	(6.4 — 16 V)	(13.2 — 33 V)	(31 — 78 V)	(67 — 168 V)	(134 — 336V)	(330— 1008 V)
0.1 — 2.1 A	309 — 378	299 — 349	289 — 320	290 — 321	290 — 321	314 — 357
2.1 — 5 A	357 — 424	349 — 399	340 — 373	340 — 374	340 — 374	362 — 405
5.1 — 10 A	373 — 435	365 — 410	357 — 386	357 — 386	357 — 386	377 — 417
10.1 — 21 A	392 — 461	385 — 438	377 — 414	378 — 415	378 — 415	397 — 444
20.1 — 80 A	477 — 555	471 — 536	465 — 517	465 — 518	465 — 518	481 — 541

1-35. 69Hz —180Hz，1.0 >功率因数> 0.75

电压量程	16 V	33 V	78 V	168 V	336 V	1008 V
电流设置	(6.4 — 16 V)	(13.2 — 33 V)	(31 — 78 V)	(67 — 168 V)	(134 — 336V)	(330 — 1008 V)
0.1 — 2 A	245 — 329	233 — 295	220 — 259	221 — 260	221 — 260	252 — 304
2.1 — 5 A	256 — 344	245 — 312	233 — 279	233 — 280	233 — 280	263 — 321
5.1 — 10 A	278 — 358	268 — 327	257 — 295	257 — 296	257 — 296	284 — 335
10.1 — 21 A	304 — 389	295 — 361	285 — 332	285 — 333	285 — 333	310 — 368
20.1 — 80 A	412 — 500	405 — 479	398 — 458	398 — 458	398 — 458	416 — 485

1-36. 69Hz —180Hz，0.75 >功率因数> 0.5

电压量程	16 V	33 V	78 V	168 V	336 V	1008 V
电流设置	(6.4 — 16 V)	(13.2 — 33 V)	(31 — 78 V)	(67 — 168 V)	(134 — 336V)	(330 — 1008 V)
0.1 — 2 A	277 — 353	267 — 322	256 — 290	256 — 291	256 — 291	284 — 330
2.1 — 5 A	314 — 389	305 — 361	296 — 333	296 — 334	296 — 334	320 — 369
5.1 — 10 A	332 — 401	324 — 374	315 — 347	315 — 348	315 — 348	338 — 381
10.1 — 21 A	354 — 429	346 — 404	338 — 379	338 — 379	338 — 379	359 — 410
20.1 — 80 A	462 — 542	455 — 522	449 — 503	449 — 503	449 — 503	465 — 527

1-37. 69Hz —180Hz，0.5 >功率因数> 0.25

电压量程	16 V	33 V	78 V	168 V	336 V	1008 V
电流设置	(6.4 — 16 V)	(13.2 — 33 V)	(31 — 78 V)	(67— 168 V)	(134 — 336V)	(330— 1008 V)
0.1 — 2 A	410 — 465	403 — 442	396 — 419	396 — 419	396 — 419	415 — 448
2.1 — 5 A	527 — 575	522 — 557	516 — 539	516 — 539	516 — 539	531 — 561
5.1 — 10 A	538 — 583	533 — 565	527 — 547	528 — 548	528 — 548	541 — 570
10.1 — 21 A	552 — 603	547 — 585	542 — 568	542 — 568	542 — 568	555 — 590
20.1 — 80 A	669 — 726	664 — 712	660 — 698	660 — 698	660 — 698	671 — 716

1-38. 180Hz－450Hz，1.0 >功率因数> 0.75

电压量程 / 电流设置	16 V (6.4 － 16 V)	33 V (13.2 － 33 V)	78 V (31 － 78 V)	168 V (67 － 168 V)	336 V (134 － 336V)	1008 V (330－ 1008 V)
0.1 － 2 A	328 － 394	319 － 366	310 － 338	310 － 339	310 － 339	333 － 374
2.1 － 5 A	386 － 449	378 － 425	371 － 401	371 － 402	371 － 402	390 － 431
5.1 － 10 A	401 － 460	394 － 436	386 － 413	386 － 413	386 － 413	405 － 442
10.1 － 21 A	419 － 484	412 － 462	405 － 440	405 － 440	405 － 440	423 － 467
20.1 － 80 A	550 － 619	545 － 602	540 － 585	540 － 586	540 － 586	553 － 606

1-39. 180Hz－450Hz，0.75 >功率因数> 0.5

电压量程 / 电流设置	16 V (6.4 － 16 V)	33 V (13.2 － 33 V)	78 V (31 － 78 V)	168 V (67 － 168 V)	336 V (134 － 336V)	1008 V (330－1008V)
0.1 － 2 A	510 － 555	504 － 535	498 － 517	498 － 517	498 － 517	513 － 540
2.1 － 5 A	648 － 687	643 － 672	639 － 657	639 － 657	639 － 657	651 － 676
5.1 － 10 A	657 － 694	652 － 679	648 － 664	648 － 665	648 － 665	659 － 683
10.1 － 21 A	668 － 711	664 － 696	660 － 681	660 － 682	660 － 682	671 － 700
20.1 － 80 A	852 － 898	849 － 886	845 － 875	845 － 875	845 － 875	854 － 889

1-40. 180Hz－50Hz，0.5 >功率因数> 0.25

电压量程 / 电流设置	16 V (6.4 － 16 V)	33 V (13.2 － 33 V)	78 V (31 － 78 V)	168 V (67 － 168 V)	336 V (134 － 336V)	1008 V (330－1008V)
0.1 － 2 A	1040 － 1063	1038 － 1053	1035 － 1044	1035 － 1044	1035 － 1044	1042 － 1056
2.1 － 5 A	1372 － 1391	1370 － 1383	1368 － 1376	1368 － 1376	1368 － 1376	1373 － 1385
5.1 － 10 A	1376 － 1394	1374 － 1387	1372 － 1380	1372 － 1380	1372 － 1380	1377 － 1389
10.1－ 21 A	1382 － 1403	1380 － 1395	1377 － 1388	1377 － 1388	1377 － 1388	1383 － 1397
20.1－ 80 A	1735 － 1758	1734 － 1752	1732 － 1747	1732 － 1747	1732 － 1747	1736 － 1754

1-41. 功率因数< 0.25

对于功率因数小于 0.25 的情况，相位角是影响功率指标的主要因素，电压和电流准确度变得可忽略不计。按照下式计算功率不确定度：

$$u(P) = (1 - \frac{\cos(\Phi + u(\Phi))}{\cos(\Phi)}) \times 10^{-6}\, ppm$$

其中，Φ 是设置的相位角，*u(ϕ)是相位不确定度。*

1-42. 无功功率，功率因数< 0.25

利用相关频率，1.0 >功率因数> 0.75，的功率指标表

1-43. 无功功率，0.25 >功率因数> 0.5

利用相关频率，0.75 >功率因数> 0.5，的功率指标表

1-44. 无功功率，0.5 >功率因数> 0.75

利用相关频率，0. 5 >功率因数> 0.25，的功率指标表

1-45. 无功功率，功率因数> 0.75

对于功率因数> 0.75 时的无功功率（Q），利用下式计算 *u(Q)*：

$$u(Q) = (1 - \frac{\cos(\Phi + u(\Phi))}{\cos(\Phi)}) \times 10^{-6}\ ppm$$

计算非正弦条件下无功功率的若干方法之一是用户可选的。

1-46. 无功功率的计算方法

在纯正弦波条件下，视在功率（S）、功率（P）和无功功率（Q）的关系为：$S^2 = P^2 + Q^2$。这种关系被称为是功率三角形。当无论是电压或电流波形不是正弦波时，功率三角形将不再满足该等式。因此，人们就尝试用不同的方法来更好的定义无功功率，而不仅仅是做单一的定义。困难在于 Q 被用于大量不同的计算之中，包括输电线路的效率和电压降。6100A/6101A 允许用户选择最适合自己需要的定义。支持以下的方法：

Budeanu 算法
Fryze 算法
Kusters 和 Moore 算法
Shepherd 和 Zakikhani 算法
Sharon 算法
Czarnecki 算法
IEEE 工作组算法
IEC 工作组 TC 25/ WG 7 算法

由于该课题非常复杂，以上所列方法的定义已经超出了本手册的范围。请参阅 1-67 部分提供的相关文件资料。

1-47. 闪变的技术指标

尽管闪变从本质上讲是一种电压现象，但 6100A 功率电能标准源源也同样能在电流输出上提供闪变现象。如果在某个电压或电流通道上已经应用了调制谐波，则不能在该通道上应用闪变。

1-48. 电压和电流闪变的技术指标

设置范围	在量程范围之内设置电压或电流的±30% (60% ΔV/V)
闪变调制深度准确度	±0.025%
跳帧深度的设置分辨率	0.001%
波形	矩形或正弦波
占空比（波形为矩形）	0.01 %至 99.99 %
调制频率范围	0.0008Hz 至 40Hz
正弦调制的频率准确度	±(50ppm + 10 μHz)
矩形调准的频率准确度	< 1300ppm [1]
调制频率设置分辨率	0.0001 Hz

[1] 准确度为 ±{(50 + 31×调制频率) ppm + 10 μHz}

1-49. Pst 指标准确度

Pst 值是来自于 IEC 60868 表 1。注意，Pst 指标仅在严格的矩形调制、230V/50 Hz 和 120V/60 Hz 条件下才有效。IEC 60868 中，为了调制频率而在这些被列成表格的数据之间内插的 Pst 值都被标以“≈”. 前缀标志. Pst 值对电流无效.

电压设置	P_{st} 指示准确度
220 V 至 240 V	±0.25%
115 V 至 125 V	±0.25%

注意，长期闪变（Plt）可以通过在适当的周期上一个固定的 Pst 来模拟，或者利用变化的 Pst 来模拟，Plt 可用下式计算：

$$Plt = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^{N} P_{sti}^{3}}{N}}$$

其中，P_{sti} (i=1,2,3,…)为不同的 Pst 连续读数。详细信息请参阅 IEC61000-4-15。

1-50. 调制谐波的技术指标

调制谐波可用于电压和电流输出。如果在某个电压或电流通道上已经应用了闪变，则不能在该通道上应用调制谐波。

调制谐波的数量	从 0 到所有设置谐波的任何谐波均可调制
调制深度的设置范围[1]	标称谐波电压的 0%至 100%
调制准确度（0%至 30%的调制）	±0.025%
调制深度设置的分辨率	0.001%
波形	矩形或正弦波
占空比（波形为矩形）	0.1 %至 99.99 %
调制频率的范围	0.008Hz 至 30Hz
正弦调制的频率准确度	±(50ppm + 10 μHz)
矩形调制的频率准确度	< 1300ppm [2]
调制频率设置分辨率	0.001 Hz

[1] 当调制深度>±30%时，对调制准确度不做规定。

[2] 准确度为 ±{(50 + 31×调制频率) ppm + 10 μHz}

1-51. 谐间波的技术指标

谐间波适用于电压和电流输出。

频率准确度	±500ppm
16Hz 至< 6kHz 时的幅值准确度	±1%
> 6kHz 时的幅值准确度	4%
单次谐间波的最大值	< 2850 Hz 的谐间波的最大值为量程的 30%。关于频率高于 2850 Hz 时的情况请参阅 1-8 部分。
谐间波的频率范围	16 Hz 至 9 kHz

1-52. 骤升/骤降的技术指标

尽管骤升 / 骤升从本质上讲是一种电压现象，但是 6100A 也同样能在电流输出上提供骤升/骤降现象。

触发输入要求	TTL 的下降沿保持低电平持续 10 us
二者选一： 触发输入延迟 或 相对于通道基波过零点的相位角同步	0 至 60 秒 ±31µs ±180°±31µs
骤升/骤降的最小持续时间	1 ms
骤升/骤降的最大持续时间	1 分钟
骤降的最小幅值	标称输出的 0%
骤升的最大幅值	满量程和标称输出 140%中的最小值
斜波上升/下降的周期	100 µs 至 30 秒可设
可选的带延迟重复	0 至 60 秒±31µs
起始电平的幅值准确度	电平的±0.025%
骤升/骤降电平的幅值准确度[1]	电平的±0.25%
触发输出延迟	从骤升/骤降事件起始点 0 至 60 秒±31µs
输出输出	TTL 下降沿附带触发输出延迟末端，保持为低达 10µs 至 31µs

[1] 当低于起始电平 10%或低于量程最小值时对准确度未做规定。

1-53. 多相运行

1-54. 电压通道和电压通道之间相位的技术指标

对于所有电压量程（15 V 至1008 V）	>40%量程的电压成分		0.5%至40%量程的电压成分[4]	
频率	1年准确度 tcal[3] ±5°C [1]	稳定度 每小时[2]	1年准确度 tcal[3] ±5°C [1]	稳定度 每小时[2]
16 Hz – 69 Hz	0.005°	0.0002°	0.010°	0.001°
69 Hz – 180 Hz	0.007°	0.0002°	0.018°	0.002°
180 Hz – 450 Hz	0.025°	0.0005°	0.052°	0.005°
450 Hz to 850 Hz	0.050	0.0008°	0.075°	0.018°
850 Hz to 3 kHz	0.170°	0.0010°	0.220°	0.100°
3 kHz to 6 kHz	0.350°	0.0015°	0.400°	0.150°

[1] 相对于 L1 电压的相位误差。

[2] 指恒定负载和连接状态 。

[3] tcal =上次校准 6100A 时的温度。

[4] 当输出成分接近数字反馈系统的分辨率极限时，在小于满量程的 0.5%时的相位性能会发生退化。

1-55. 通用技术指标

1-56. 输入电源

电压	100 V 至 240 V，最大波动 10%
瞬时过压	IEC 60364-4-443 标准的耐冲击（过压）二级标准
频率	47 Hz 至 63 Hz
最大功耗	100 至 130V 时最大 1000 VA，130 V 至 260 V 时最大 1250 VA

1-57. 尺寸

	6100A 和 6101A	6100A/80A 和 6101A/80A
高	233 mm (9.17 inch)	324 mm (12.8 inch)
高（不含支脚）	219 mm (8.6 inch)	310 mm (12.2 inch)
宽	432 mm (17 inches)	432 mm (17 inch)
深	630 mm (24.8 inch)	630 mm (24.8 inch)
重量	23 kg (51 lb)	30 kg (66 lb)

1-58. 环境

工作温度	5 °C to 35 °C
校准温度（tcal）范围	16 °C to 30 °C
储存温度	0 °C 至 50 °C
运输温度	-20 °C 至 60 °C < 100 小时
预热时间	1 小时
安全工作的最大相对湿度（非凝结）	< 80% 5 °C 至 31 °C， 35 °C 时线性下降至 50%
储存时最大相对湿度（非凝结）	<95% 0 °C 至 50 °C
工作海拔高度	0 m 至 2,000 m
非工作海拔高度	0 m 至 12,000 m
冲击	MIL-PRF-28800F class 3
振动	MIL-PRF-28800F class 3
密封	MIL-PRF-28800F class 3

1-59. 安全

设计满足 EN61010-1: 2001、CAN/CSA 22.2 No 1010.1-92、UL61010A-1 标准

仅供室内使用，污染等级 2；安装类别 II

CE 和 ETL 认证。

1-60. EMC

EN61326: 2002，A 类，FCC 规范 15 部分，B 小部分，A 类（A 类设备适用于设施，而不适用于住宅，以及那些直接连接至家用建筑低压供电网的用途。）

1-61. *确定非正弦波形的幅值技术指标*

电压分量组合的真有效值值为：

$V_{RMS}^2 = \sum_{i=1}^{N} V_i^2$，假设每一 V_i 的不确定度 $u(V_i)$，

注意，6100A 非正弦电压（或电流）波形的分量的不确定性是相关的，因此，必须利用线性相加进行组合。

$$(V_{RMS} + u(V_{RMS}))^2 = \sum_{i=1}^{N} (V_i + u(V_i))^2$$

$$V_{RMS}^2 + 2V_{RMS}u(V_{RMS}) + u^2(V_{RMS}) =$$
$$V_1^2 + 2V_1u(V_1) + u^2(V_1) + V_2^2 + 2V_2u(V_2) + u^2(V_2) \ldots V_n^2 + 2V_nu(V_n) + u^2(V_n)$$

但是，$V_{RMS}^2 = \sum_{i=1}^{N} V_i^2$，

并且，当不确定度相对很小时（就象在 6100A 中），$u^2(Vi)$*即可忽略不计。复合波形的不确定度变为：*

$$2V_{RMS}u(V_{RMS}) = 2V_1u(V_1) + 2V_2u(V_2) \ldots 2V_nu(V_n)$$

进一步进行简化，即可得出组合不确定度 u_c：

$$u_c(V_{RMS}) = \sum_{i=1}^{N} c_i u(V_i)$$

其中，$c_i = \frac{V_i}{V_{RMS}}$，即为灵敏度系数。.

1-62. *非正弦波电压的例子*

波形为 60 Hz，110V 真有效值的波形，电压量程为 168V，包括 10%的 95 次斜波和 30%的 3 次斜波，其它成分为基波。利用 1-12 和 1-13 部分中的电压不确定度值，确定 1 年准确度。

3 次谐波的真有效值电压＝0.3×110＝33 V

95 次谐波真有效值的真有效值电压＝0.1×110=11 V

基波的真有效值电压＝ $\sqrt{(110^2 – 33^2 – 11^2)}$ = 104.3552 V

基波对准确度的贡献：

112 ppm 输出＋4.4mV＝(104.3552×0.000112)+0.0044=0.011688+0.0044=0.016088 V

利用灵敏度系数进行修正：0.016088×104.3552 ÷ 110 = 0.015262V

3 次谐波（180 Hz）对准确度的贡献：

3 次谐波值的 122ppm＋4.4mV＝(0.000122x33)+0.0044 = 0.008426V

利用灵敏度系数进行修正：0.008426×33 ÷ 110 = 0.002528V

95 次谐波（5700Hz）对准确度的贡献：

95 次谐波值的 512ppm＋4.4mV = (0.000512×11)+0.0044 = 0.010032V

利用灵敏度系数进行修正：0. 010032×11 ÷ 110 = 0. 001003V

将不确定度进行组合：

总幅值不确定度＝0.015262+0.002528+0.010032 = 0.018793V

电压准确度=110±0.018793 V

1-63. 视在功率准确度的计算

在计算非正弦输出的视在功率时，采用以下公式：

$$S = \sqrt{\sum_n V_n^2 \sum_n I_n^2} VA$$

在计算视在功率（S）的准确度时，必须结合电压谐波成分的幅值准确度技术指标，如以上 1-61 部分所述。电流成分也是利用相同的方法进行组合的。由于视在功率是两个不同参数的乘积，利用相对值很容易组合出不确定度。注意，6100A 的电压和电流成分是独立产生的，因此在很大程度上是不相关的。

$$s^2 = V_{RMS}^2 I_{RMS}^2$$

$$\frac{u_c^2(S)}{S^2} = \left[\frac{u(V_{RMS})}{V_{RMS}}\right]^2 + \left[\frac{u(I_{RMS})}{I_{RMS}}\right]^2$$

其中，$u_c(S)$是视在功率的组合不确定度，$u\ (V_{RMS})$是真有效值电压的不确定度，$u\ (I_{RMS})$是真有效值电流的不确定度。

1-64. 视在功率的例子

电压通道的基波输出为 109V，电压量程为 168 V，60 Hz。增加了一个 15 V 的 3 次谐波。电流通道输出为 7A，60 Hz，电流量程为 10A，3 次和 5 次谐波分别为 0.7 A 和 0.3 A。相位角对于视在功率的计算没有影响。电压不确定度在 1-12 和 1-13 部分给出，电流不确定在 1-19 和 1-20 部分给出。

电压真有效值值为：$\sqrt{109^2 + 15^2} = 110.02727V$

电压基波对准确度的贡献：

109V 的 112ppm+4.4mV = (109×0.000112)+0.0044 = 0.012208+0.0044 = 0.016608V

利用灵敏度系数就行修正＝0.016608×109 ÷ 110.02727 = 0.016453V

电压的 3 次谐波对准确度的贡献：

15V 的 122ppm+4.4mV = (15×0.000112)+0.0044 = 0.01830+0.0044 = 0.006230V

利用灵敏度系数进行修正：0.006230×15 ÷ 110.02727 = 0.000849V

组合电压不确定度：

$$\frac{u(V_{RMS})}{V_{RMS}} = \frac{0.016453 + 0.000849}{110.02727} = 0.000157(\text{或}157\,ppm)$$

电流真有效值值为：$\sqrt{72 + 0.72 + 0.32} = 7.041307$

电流基波对准确度的贡献：

7A 的 164ppm+240µA = (7×0.000164)+0.000240 = 0.001148+0.000240 = 0.001388

利用灵敏度系数进行修正：0.001388x7 ÷ 7.041307 = 0.001380A

电流的 3 次谐波对准确度的贡献：

0.7A 的 191ppm+240µA = (0.7×0.000191)+0. 000240 = 0.000134+0.000240 = 0.000374

利用灵敏度系数进行修正：0. 000374×0.7 ÷ 7.041307 = 0.000037A

电流的 5 次谐波对准确度的贡献：

0.3A 的 191ppm+240µA = (0.3×0.000191)+0.000240 = 0.000058+0.000240 = 0.000297

利用灵敏度系数进行修正：0.000297×0.3 ÷ 7.041307 = 0.000013A

组合电流不确定度：

$$\frac{u(I_{RMS})}{I_{RMS}} = \frac{0.001388 + 0.000037 + 0.000013}{7.041307} = 0.000204(\text{或}204ppm)$$

所以，$S^2 = V_{RMS}^2 \bullet I_{RMS}^2 = 110.02727 \times 7.041307 = 774.7358VA$

视在功率的不确定度：

$$\frac{u(S)}{S} = \sqrt{\left[\frac{u(V_{RMS})}{V_{RMS}}\right]^2 + \left[\frac{u(I_{RMS})}{I_{RMS}}\right]^2} = \sqrt{0.000157^2 \times 0.000204^2} = 0.0002574$$

得出：

$$u_c^2(S) = 0.0002574 \times 774.735748 = 0.1994VA$$

视在功率准确度＝774. 7358±0.1994 *VA*

1-65. 功率（P）准确度的计算

有效功率是每一谐波频率下电压/电流/相位准确度乘积之和。

$$P = \sum V_n I_n \cos \Phi_n \quad \text{瓦}$$

其中 n 为分量的谐波次数。

计算功率准确度时采用的方法如前所述。电压、电流和相位的不相关不确定度分量利用每一频率的平方和根合并获得：

$$\frac{u^2(P_f)}{P_f^2} = \left[\frac{u(V_f)}{V_f}\right]^2 + \left[\frac{u(I_f)}{I_f}\right]^2 + \left[\frac{u(phase_f)}{phase_f}\right]^2$$

其中，$u(x)$是分量 x 的不确定度，*phase* 是在频率 f 下电流和电压之间的相位角。将每一部分表示为 ppm 是最容易的。

相位角准确度的贡献随设置的相位角而变化，如下所示。

$$u(phase) = 1 - \frac{\cos(\Phi + u(\phi))}{\cos \Phi}$$

其中，Φ 是设置的相位角，$u(\mu)$是相位准确度。

每一频率下的功率不确定度经过灵敏度系数 c_i 的修正，然后被线性组合在一起，得出组合不确定度 u_c（由于电压分量，以及电流和相位分量是不相关的，所以进行线性组合）。

$$u_c(P) = \sum_{i=1}^{N} c_i u(P_i)$$

1-66. 功率的例子

电压通道的输出为 109 V，电压量程为 168 V，60 Hz，3 次谐波为 15 V。电压 3 次谐波相对于电压基波的相位角为 0°。

电流通道的输出为 7A，电流量程为 10 A，60 Hz，3 次和 5 次谐波分别为 0.7A 和 0.3A。电流基波相对于电压基波的相位角为 12°。电流 3 次谐波相对于电流基波的相位角为+25°，也就是说 3 次电流谐波和 3 次电压谐波之间的相位角为 25°+ (3×12°) = 61°。由于没有电压 5 次谐波和电流 5 次谐波相匹配，因此就没有 5 次谐波功率分量。

电压不确定度在 1-12 和 1-13 部分给出，电流不确定度在 1-19 和 1-20 部分给出。相位不确定度在 1-28 部分给出。

将所有值转换为 ppm，基波对准确度的贡献：

$$u(V_1) = 112\,ppm + \frac{0.0044V \times 10^6}{109V} = 152\,ppm$$

$$u(I_1)=164ppm+\frac{0.00024A\times10^6}{7A}=198ppm$$

$$u(phase_1)=\left[1-\frac{\cos(12+0.004)}{\cos(12)}\right]\times1e6=15ppm$$

基波分量的组合准确度：

$$u(P_1)=\sqrt{152^2+198^2+15^2}=250ppm$$

基波的功率：

$P_1=V_1I_1\cos\Phi_1=109\times7\times0.9781476=746.3266$ W，所以：

$$u(P_1)=250\times10^{-6}\times746.3266=0.1866W$$

3 次谐波对准确度的贡献：

$$u(V_3)=122ppm+\frac{0.0044V\times10^6}{15V}=415ppm$$

$$u(I_3)=191ppm+\frac{0.00024A\times10^6}{0.7A}=534ppm$$

$$u(phase_3)=\left[1-\frac{\cos(61+0.023)}{\cos(61)}\right]\times1e6=724ppm$$

3 次谐波分量的组合准确度：

$$u(P_3)=\sqrt{415^2+534^2+724^2}=991ppm$$

3 次谐波分量的功率：

$P_3=V_3I_3\cos\Phi_3=15\times0.7\times0.484810=5.0905W$，所以：

$$u(P_3)=991\times10^{-6}\times5.0905=0.005045W$$

总功率 $P=P_1+P_3=746.3266+5.0905=751.4171W$

由：

$$u_c(P)=\sum_{i=1}^{N}c_i\bullet u(P_i)$$

$$u_c(P)=\frac{746.3266}{751.4171}\times0.1866+\frac{5.0905}{751.4171}\times0.005045=0.1854W$$

功率准确度＝751.4171±0.1854 W

1-67. 参考

6100A 和 6101A 计算无功功率的方法参考了 Stefan Svenson 博士发表的论文：

Svensson, S., (1999), Power Measurement Techniques for Nonsinusoidal Conditions, Chalmers（非正弦条件下的功率测量技术）

其它相关文献有：

Budeanu, C., (1927), "Reactive and fictitious powers", *Rumanian National Institute*, No.2.

Czarnecki, L. S., (1885), "Considerations on the reactive power in nonsinusoidal situations", *IEEE Trans. on Inst. and Meas.*, Vol. 34, No. 3, pp399-404, Sept.

Czarnecki, L. S., (1987), "What is wrong with the Budeanu concept of reactive and distortion power and why it should be abandoned", *IEEE Trans. on Inst. and Meas.*, Vol. 36, No. 3, pp834-837, Sept

Filipski, P., (1980), "A new approach to reactive current and reactive power measurements in nonsinusoidal systems", *IEEE Trans. on Inst. and Meas.*, Vol. 29, No. 4, pp423-426, Dec.

Fryze, S., (1932), "Wirk- Blind- und Scheinleistung in elektrischen Stromkreisen mit nichtsinusformigen Verlauf von Strom und Spannung", *Elektrotechnische Zeitschrift*, No25, pp 596-99, 625-627, 700-702.

Kusters, N. L. and Moore, W. J. M., (1980), "On the definition of reactive power under nonsinusoidal conditions", *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*, Vol PAS- 99, No. 5, pp1845-1854, Sept/Oct.

Sharon, D., (1973), "Reactive power definition and power factor improvement in non-linear systems", *PROC. IEE,* Vol. 120, No. 6, pp 704-706, July.

Shepherd, W. and Zakikhani, P., (1972), "Suggested definition of reactive power for nonsinusoidal systems", *PROC. IEE,* Vol. 119, No. 9, pp 1361-1362, Sept.

IEC, Reactive power in nonsinusoidal situations, Report TC 25/wg7.

*第 **2** 章*

安装

2-1. 概述

⚠ 警告

6100A 功率电能标准源主机和辅机的接线柱上会存在致命电压。

本章介绍 6100A 功率电能标准源的拆箱和安装。同时还提供了更换保险丝和连接电源的程序。请在操作 6100A 功率电能标准源源之前仔细阅读本章内容。

在本手册的以下章节中介绍了如何进行除电源连接之外的其它电缆连接：

在第 4 章中介绍了如何连接电压和电流输出，以及使用 6100A 线组的说明

在第 5 章介绍了 IEEE-488 接口总线的连接方法

2-2. 拆箱和检查

6100A 功率电能标准源在运输时被装在专用包装箱内以防损坏。

请仔细检查 6100A 功率电能标准源源，如果发生任何损坏，请立即通知承运方。在包装箱内包含有检查和主张权利的说明。

包装中含有装箱单。在拆开 6100A 功率电能标准源包装箱时，请对照装箱单检查所有标准设备以及订购的其它部件。如果发生任何短缺现象，请立即通知购买点或最近的福禄克服务中心。

2-3. 再次运输 6100A

可以从福禄克购买用来搬运仪器的“搬运箱”。福禄克部件编号为 1887580。该包装箱能满足大多数条件下的使用，但是比原始纸板箱的抗冲击保护能力要弱。建议尽可能使用原始包装箱。

2-4. 放置和上架安装

该仪器应工作于受控的电磁环境，例如校准和测量实验室，也就是说在这些环境下在非常近的距离内不会存在射频发射装置，例如移动电话。

6100A 和 6101A 适合于台式应用，在仪器的两侧要留有足够的空间（每侧最小 100 mm）保证充分的通风。

利用福禄克的部件 1887571 还可以将 6100A 和 6101A 安装到机柜中。随机架安装套件提供有详细的安装说明。请注意，面对 6100A 仪器时，空气是从左向右进行流通的。如果将 6100A 安装到机柜中，气流反向必须一致。

2-5. 致冷

⚠ 注意

如果通风孔受限、入口处的空气温度太高或空气过滤网被堵塞，就会发生过热，损坏仪器。

6100A 功率电能标准源两侧距离附近的墙壁或机柜必须至少 100 mm。6100A 功率电能标准源两侧的进气口和排气口必须保持清洁，防止堵塞。

进入仪器的空气温度必须介于 5 °C 和 35 °C 之间。请确保其它仪器排出的气流不会直接进入到 6100A 的进气口。

如果在灰尘比较大的环境中使用 6100A 功率电能标准源，请每 30 天或更频繁地对空气过滤网进行清洁。（清洁空气过滤网的说明请参阅第 6 章）

2-6. 电源电压

6100A 和 6101A 功率电能标准源可以自动检测适应 100-240V 范围之内的电源电压，因此用户无需选择电压。保险丝可以覆盖该电压范围。第 6 章介绍了保险丝的操作方法。

2-7. 连接电源

⚠ 警告

为了避免电击危险，请使用工厂提供的三线式电源线连接到具有接地的电源插座。请勿使用两线的适配器或延长线，否则会破坏保护地的连接。如果必须使用两线的电源线，则必须在后面板的接地端子和地之间连接一根保护地线。

为 6100A 仪器或 6100A 系统提供电能的电源插座必须有应急开关控制，如果发生危险可立即断开电源。

6100A 功率电能标准源所需的电源电流可能超过了标准的 13 A IEC 连接器的容量，因此在后面板上配备了一个 16A 的电源插座。

随仪器提供了一根相应的电源线。请确保房间的电源插座可提供最大 1250 VA 的功率，并且将 6100A 功率电能标准源连接至可靠接地的三线插座。注意：在 115 V 时，典型的最大功率为 1000 VA。

如果电源线没有**电源**连接器，请在连接电源连接器时遵守以下的色码方案——电源火线 = 棕色，零线 = 蓝色，地线 = 绿色/黄色。

国家	福禄克电源线的部件编号
英国	1998167
欧洲	1998171
澳大利亚、新西兰、中国	1998198
美国、日本	1998209
其它（不含插头）	1998211

2-8. 连接 6101A 辅机

被添加到 6100A 主机的每一个 6101A 辅机都能另外提供一个电压和电流相。一台 6100A 主机可控制最多 3 个辅机单元。控制连接是通过随辅机提供的互连电缆（部件号 2002080）完成的。通过 6100A 和 6101A 后面板的连接器进行连接。图 2.1 所示为 6100A 主机上的连接示意图。

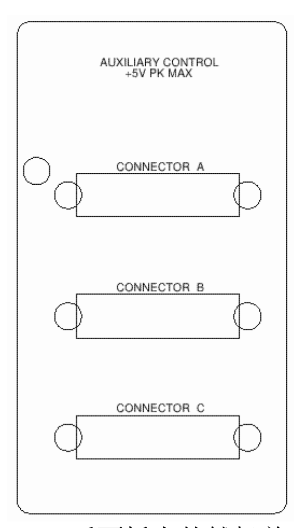


图 2-1. 6100A 后面板上的辅机单元连接器

2-9. 相位设置

在多相系统中 6100A 总是 L1 相。6101A 辅机根据所连接到的辅机控制连接器确定该相位置。连接器 A 控制“L2”相，连接器 B 上的 6101A 辅机为“L3”，而连接器 C 上的辅机被指派于“N”相（中相）。关于仪器控制和用户界面的信息请参阅第 3 章。

第 3 章

特性

3-1. 概述

本章是 6100A 功率电能标准源的前面板和后面板的功能和位置参考，同时对每一功能都进行简要介绍，供快速操作。

请在操作功率电能标准源源之前仔细阅读本章内容。

功率电能标准源源前面板的操作说明在第 4 章介绍，程控操作说明在第 5 章介绍。

3-2. 前面板

仪器的前面板功能部件（包括所有的控制开关、显示屏、指示器和端子）如图 3-1 所示。表 3-1 中对前面板的每一功能部件进行了简要介绍。

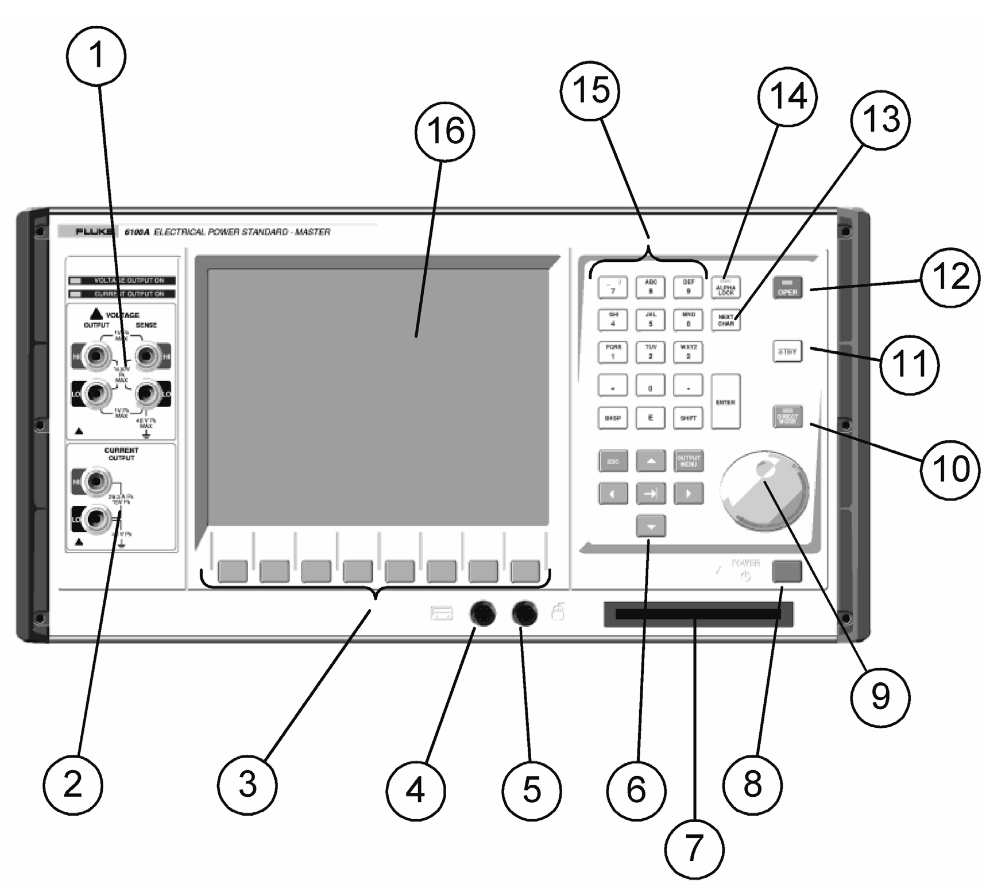


图3-1. 6100A 前面板

表3-1. 前面板功能部件

1 电压接线柱	OUTPUT 组的 HI 和 LO 输出电压接线柱用来接连电压输出。SENSE 组的 HI 和 LO 接线柱用来连接负载检测信号，以获得最佳准确度。通过“Global Settings”（系统设置）菜单选择两线 / 四线测量方式。请参见第 4 章。
2 电流接线柱	输出电流通过电流接线柱输出。
3 软键	通过软键可以直接操作设置功能（参见第 4 章）。如果连接了外部键盘，则键盘上的功能键（F1－F8）也具有相同的功能。
4 键盘端口	PS/2 端口，如果需要的话可连接一个外置键盘。
5 鼠标端口	PS/2 端口，如果需要的话可以连接一个鼠标。
6 控制键盘区	“SELECT MENU”（选择菜单）键可以在三个主菜单之间切换：输出、系统设置和波形（Output、Global settings 和 Waveform）。 ESC（退出）键改变软键的控制菜单层。 中间的 TAB 键可以在所选菜单中的控制功能之间移动。 左/右键和上/下箭头键可用来选择数据输入区和选项区域的值。
7 软驱	可以保存和装入波形配置。
8 电源开/关	将电源打开或关闭。当电源处于打开位置时，开关保持压下状态。再次按下开关，即被弹起并关闭电源。注：该开关以电子方式控制电源，而非隔离开关。
9 双功能“旋论”	提供快速数据输入方式。当未按下而进行旋转时，则滚动输入区域内当前被突出显示的数字符号；当向内按下进行旋转时，则在区域内的符号之间移动光标。
10 DIRECT MODE（直接模式）键	在直接模式（Direct Mode）下，键盘 LED 被点亮，对波形所做的所有改变即时生效。如果没有激活直接模式，6100A 则处于“延缓”模式。在延缓模式（Deferred mode）下，对波形所做的修改都被保存起来，但并不应用。保存修改时同时应用，也可以“取消动作”（undone）。
11 STBY（待机）键	将输出关闭。
12 OPER（运行）键	将“有效”通道的输出打开。端子上方的指示灯标明通道是否被打开。

表 3-1. 前面板功能部件（续）

13 NEXT CHAR（下一字符）键	在文本输入模式（字母键盘锁 LED 点亮）下，利用 NEXT CHAR（下一字符）键和字符数字键盘（15）相组合键入文本。这种操作方法非常类似于手机输入文本的方式，重复按下按键，直到显示出所需的字符，这样就能利用一个按键输入多个文本符号。利用 NEXT CHAR 键移动到下一字符。按 ENTER 键完成输入。
14 字符键盘锁	在文字和数字输入之间进行切换。在数字输入模式下，字符键盘锁指示灯是熄灭的；在文字输入模式下，字符键盘锁指示灯被点亮。
15 字符数字键盘	用来输入文本和数字。利用字符键盘锁（14）可以在在数字和文字输入之间进行切换。 在数字输入模式下（字符键盘锁指示灯熄灭），可以直接输入数字（利用 E 键可输入指数）。 在文字输入模式下（字符键盘锁指示灯点亮），利用字符数字键盘和 NEXT CHAR（下一字符）键（13）相组合键入文本。这种操作方法非常类似于手机输入文本的方式，可利用一个按键输入多个文本符号。
16 Windows 用户界面	功率电能标准源的波形和其它功能的设置是通过一个 Windows 程序完成的。在第 4 章中介绍了操作步骤。

3-3. Windows™ 用户界面

功率电能标准源的用户界面是一个 Windows 程序。本章概要介绍用户界面。在第 4 章中详细介绍操作程序。

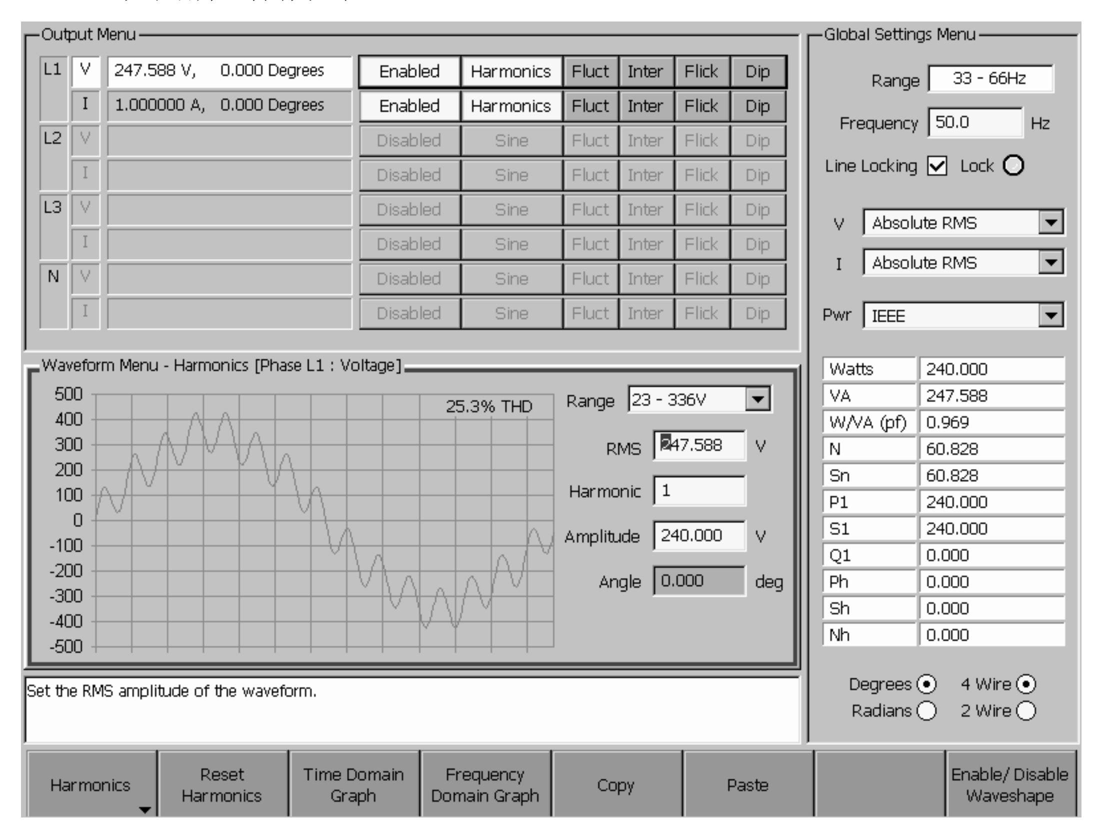


图3-2. 图形化用户界面

3-4. 图形化用户界面主区域

用户界面被分为 5 个不同的区域。三个“菜单”区域提供用于输入区域。

“Global Settings Menu”（系统设置菜单）提供适用于 6100A 以及连接到 6100A 的所有 6101A 辅机的设置。

“Output Menu”（输出菜单）提供了部分输出控制系统，以及要设置的“相”和“通道”（电压或电流）的选项。输出菜单总是显示电压和电流接线柱上的实际值（或者是在按下 OPER 键后将要发生的值）。

“Waveform Menu”（波形菜单）是某个通道的波形被重构的区域。在用户界面的这部分，显示在将设置设为“Enabled”（有效）后将要输出的信号。

在波形菜单下方为消息窗口，消息窗口提供上下文相关的帮助和错误消息。当显示了错误消息时，窗口的背景即由白色变为红色。

在屏幕的底端，是和所选“菜单”相对应的 8 个“软键”。

另外，有 5 个“弹出”式屏幕，可以装入先前的设置、保存当前的设置、设置日期和时间、更改 GPIB 设置，“about”（关于）屏幕提供用户界面和机器软件的详细信息。从“Global Menu”（系统设置菜单）和“More Settings”（更多设置）软键可调出这些弹出式窗口。

3-5. 从前面板输入数据项

基本的控制键有：

SELECT MENU（选择菜单）键	利用该键在三个主“菜单”之间移动控制。拥有控制的窗口菜单具有蓝色边框。
软键	屏幕底部与上下文相关的软键。
ESC（退出）键	在软键菜单中上移一层 从弹出式对话框中“退出” 消去警告和错误消息。
TAB 键（导航键盘区的中心）	在当前“菜单”窗格内，在控件之间移动控制。
上/下箭头键和左/有箭头键	帮助选择和修改数据输入区域和选项区域的值。
ENTER（确定）键	完成从字符数字键盘区的输入。

在直接模式下，对波形所做的所有修改立刻生效。当未激活直接模式时，可以进行大量的修改，进行保存，然后同时生效。利用 DIRECT MODE（直接模式）键可以在这些选项直接切换。在直接模式下，“DIRECT MODE”键被点亮。

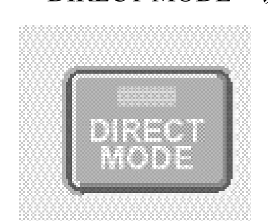


图3-3. “直接模式”键

在延缓模式下，对影响输出波形的区域所做的修改用橙色背景表示。若需激活所做的修改，选择“Apply All”（应用全部）按钮（当输出菜单被高亮时可见）即可。或者，如果输出是打开的，按下 OPER 键即可调用修改。

若需取消延缓的动作，从输出菜单中选择“Undo all”（取消全部）即可。如果在没有应用所做修改时选择了直接模式，也会取消延缓的动作。

转至一个屏幕数据“域”或下拉式“组合框”

利用“SELECT MENU”（选择菜单）键在页面的三个菜单中移动。当所需的菜单被突出显示（蓝色边框）时，利用 TAB 键移动到所需的域。

或者

或者利用与所需域相对应的软键直接选择。

从下拉式“组合框”中选择值

一旦“组合框”被突出显示，利用上/下或左/右箭头键进行滚动，查找所需的值。

更改数据域中的值

利用字符数字键盘直接输入值。在输入新值时，数据域的背景颜色变为橙色。用户必须按 ENTER 键或 TAB 键完成数据的输入（在延缓模式工作状态，仍然保持橙色背景）。

或

利用控制键“滚动”到所需的数字。利用左和右箭头键选择当前值的列，利用上和下箭头键修改数值。例如，将 123 该为 163，首先按左和右箭头键，直到 2 被突出显示，然后按上箭头键（4 次）将其设置为所需得值。在使用“滚动”方法时，无需按 ENTER 键。

双功能旋论提供类似的控制功能，当旋论被按下时，光标被左右移动；当旋论未被按下时，所选的数字增加/减少。

3-6. 利用外部键盘和鼠标输入数据项

转至一个屏幕“域”。

将指针指向所需的“活动”数据域，点击鼠标左键进行选择。

或者

利用 F9 键选择所需的“菜单”，然后利用“Tab”键跳至所需的域。

从下拉式“组合框”中进行选择

一旦“组合框”被突出显示，利用上和下箭头键滚动到所需的值。

更改数据域中的值

直接从键盘输入值。在输入新值时，数据域的背景颜色变为橙色。用户必须按 ENTER 键或 TAB 键完成数据的输入。

或者

利用键盘上的上、下、左、右箭头键将数值“滚动”到所需的数字。利用左和右箭头键选择当前值的列，利用上和下箭头键修改数值。例如，将 123 该为 163，首先按左和右箭头键，直到 2 被突出显示，然后按上箭头键（4 次）将其设置为所需得值。在使用“滚动”方法时，无需按 ENTER 键。

选择复选框和单选按钮

利用空格键选中或取消选中复选框；利用鼠标指针选中或取消选中单选按钮。

3-7. 输出通道选项

Output Menu

L1	V	11.0000 V, 0.000 Degrees	Disabled	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip
	I	0.500000 A, 0.000 Degrees	Enabled	Harmonics	Fluct	Inter	Flick	Dip
L2	V	110.000 V, 0.000 Degrees	Disabled	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip
	I	0.500000 A, 0.000 Degrees	Disabled	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip
L3	V	110.000 V, 0.000 Degrees	Disabled	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip
	I	0.500000 A, 0.000 Degrees	Disabled	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip
N	V		Channel	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip
	I		Channel	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip

图3-4. 输出菜单

“Output Menu”（输出菜单）提供了部分输出控制系统，以及要设置的“相”和“通道”（电压或电流）的选项。利用“SELECT MENU”（选择菜单）键（或外置键盘上的 F9）选择该菜单。

说明 6100A 已经连接了两台 6101A 辅机，一台连接到 6100A 的连接器 A（L2），另一台连接到连接器 B（L3）。

3-8. 输出控制

当输出菜单被突出显示时，即会显示出“Enable/Disable Channel”（激活/禁止通道）软键，它激活/禁止输出的特定波形。用户也可以利用 TAB 键和上/下箭头键在域之间移动。ENTER 键切换按钮的状态，也就是激活或禁止波形。

Enable/Disable Channel	Sine or Harmonics	Enable/Disable Fluct Harmonics	Enable/Disable Interharmonics	Enable/Disable Flicker	Enable/Disable Dip		

图3-5. 输出菜单的软键

只有相关通道被“激活”，并且按下 OPER 键时，在输出接线柱上才会有电压和电流。按下 OPER 键即可打开所有被“激活”的通道。注意，如果在没有电压或电流通道被激活时按下 OPER 键，即会在消息窗口显示一条错误消息。

3-9. 后面板功能部件

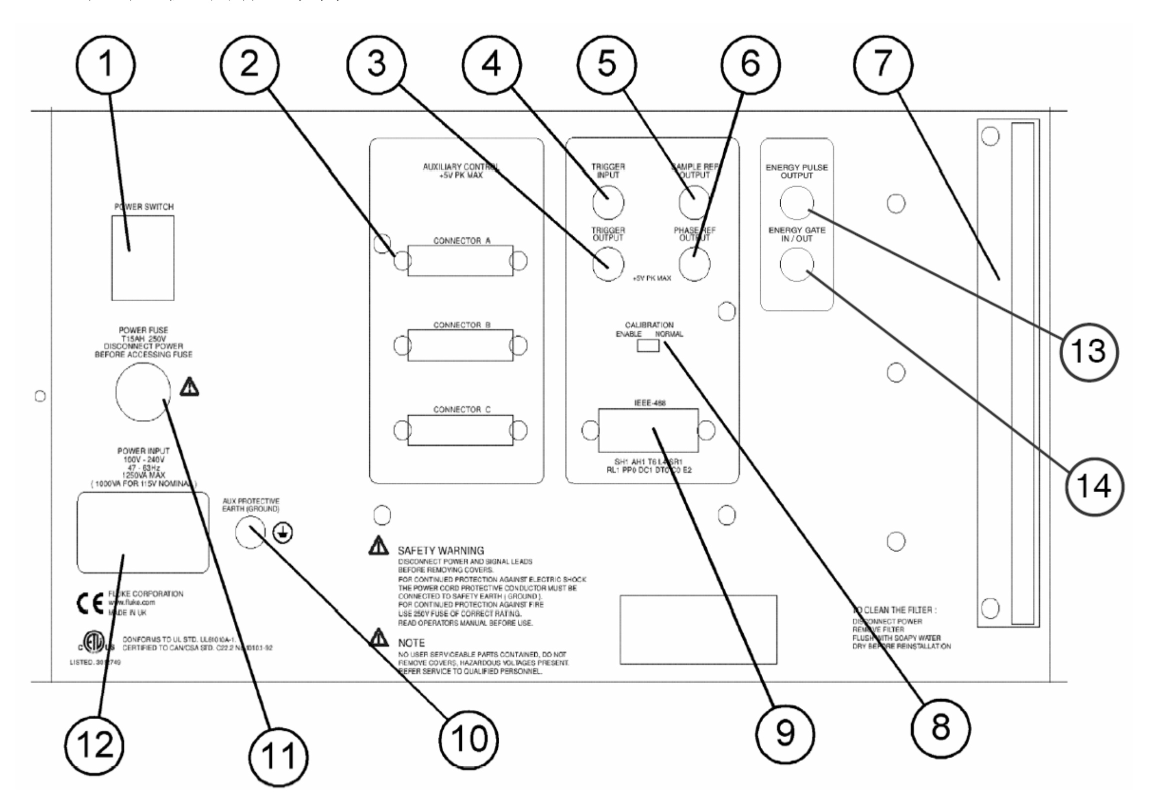
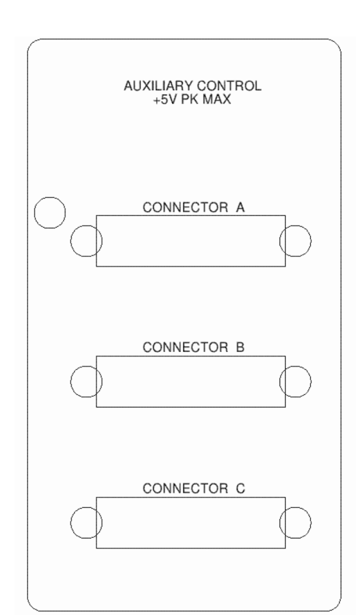


图3-6. 后面板的功能部件

表3-2. 后面板功能部件

1 电源开关	这是一个真正的电源隔离开关。
2 辅机连接器	利用福禄克提供的电缆连接到辅机。
3 触发输出连接器	触发输出连接器有一个+5V CMOS 逻辑驱动，提供一个下降沿时间标记，可用来将外部设备同步到骤升/骤降功能。发生下降沿的点是由触发输出延迟控制的。在下降沿之后，信号将保持为低一段时间，最短为 10 us.
4 触发输入连接器	触发输入连接器是一个 TLL 兼容输入，可选择用来初始化下降沿上的骤升/骤降。下降沿可起动用户可编程的初始延迟计时器或准备好用户可设置的输出波形相位角比较器。这些是互斥的。当计时器已经终止或比较器已经发现输出波形所需的相位角，骤升/骤降的 Ramp In 部分即会开始。输入在下降沿之后的至少 10 us 内保持为低才是合适的。
5 采样参考输出连接器	采样参考输出连接器有一个+5V CMOS 逻辑驱动，提供一个下降沿，用来驱动采样测量仪器，与 6100A 的内部采样同步。GPIB 接口可激活或禁止该信号。当被激活时，第一个下降沿将被延迟，直到 L1 电压基波上升穿过零点。然后信号将继续，直到 GPIB 将其禁止。
6 相位参考输出连接器	相位参考输出连接器有一个+5V CMOS 逻辑驱动，提供一个上升沿，与 L1 基波电压的上升过零点同步。该信号的占空比为 50%。
7 空气过滤网	关于空气过滤网维护程序的信息请参阅第 6 章。
8 允许校准开关	
9 IEEE 488 连接器	用于连接到 GPIB 系统。
10 地线接线柱	辅助保护地/接地接线柱。
11 保险丝	关于保险丝更换程序的信息请参阅第 6 章
12 电源插座	16A 的电源连接器
13 电能脉冲连接器（如果已安装）	当装了电能选件时，电能脉冲输出提供与输出功率成比例的脉冲。关于技术指标和描述的信息，请参阅第 8 章。如果没有安装电能选件，则为空。
14 电能门控输入/输出连接器（如果已安装）	电能选件使用了一个双向的输入或输出门控控制器。关于技术指标或描述的信息，请参阅第 8 章。如果没有安装电能选件，则为空。


AUXILIARY CONTROL
+5V PK MAX
CONNECTOR A
CONNECTOR B
CONNECTOR C

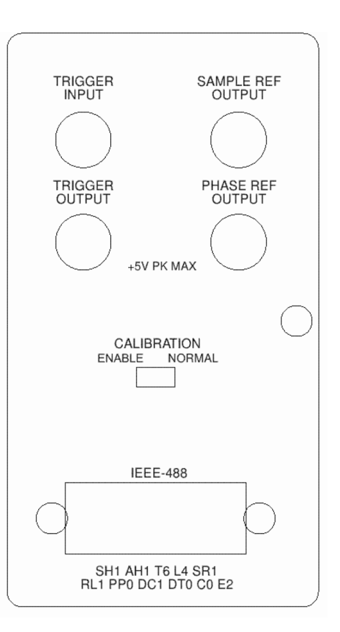

TRIGGER
INPUT
SAMPLE REF
OUTPUT
TRIGGER
OUTPUT
PHASE REF
OUTPUT
+5V PK MAX
CALIBRATION
ENABLE
NORMAL
IEEE-488
SH1 AH1 T6 L4 SR1
RL1 PP0 DC1 DT0 C0 E2

图3-7. 后面板连接器

*第 **4** 章*

前面板操作

4-1. 概述

本章介绍如何从前面板操作 6100A 功率电能标准源，包括 6100A 功率电能标准源的所有设置和配置。

在开始本章介绍的程序之前，读者应该首先熟悉在第 3 章详细介绍的前面板控制开关、显示屏和接线端子。关于通过程控命令操作 6100A 功率电能标准源的信息，请参阅第 5 章。

警告

6100A 功率电能标准源会产生致命的电压。在有电压输出时，请勿接触输出端子。将仪器置于待机状态并不能完全避免电击危险。请断开 6100A 的 GPIB 电缆，以防止程控命令产生不希望的输出。

4-2. 加电



警告

为避免电击危险，请确保 6100A 功率电能标准源已按照第 2 章的介绍安全接地。

4-3. 预热

6100A 功率电能标准源必须进行预热，才能达到第 1 章中列出的技术指标。预热时间请参照第 1 章中技术指标部分。

4-4. 基本设置方法

关于如何在 Windows 用户接口中选择控制项以及如何设置文本和数字值的信息，请参阅第 3 章。

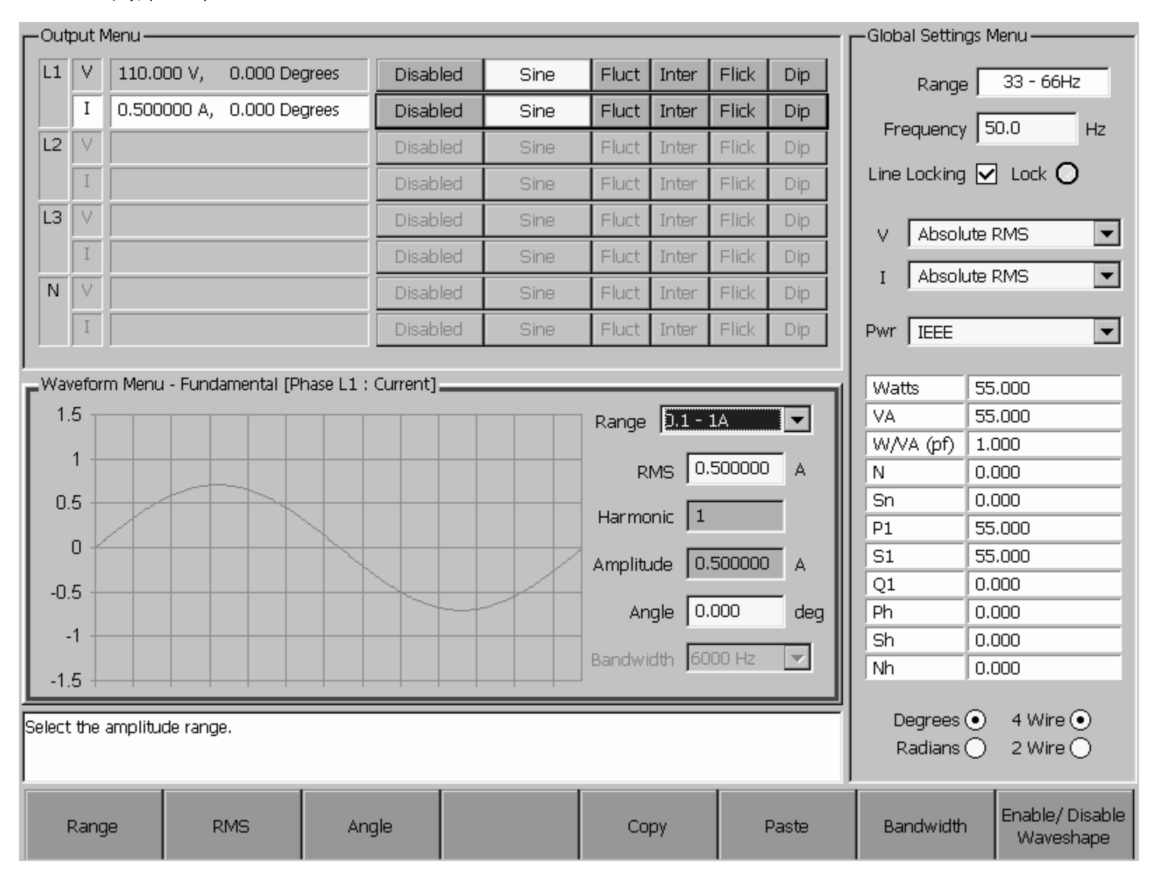


图4-1. 主设置页

当 6100A 完成驱动之后，就会显示仪器的主设置页面。

在该页的顶部是“Output Menu”（输出菜单）；在输出菜单的下方是“Waveform Menu”（波形菜单），其内容会根据被编辑波形的参数而变化。

在右侧是“Global Settings Menu”（系统设置菜单）。利用“SELECT MENU”（选择菜单）键在菜单之间切换。

4-5. 系统设置

利用“SELECT MENU”（选择菜单）键将控制转至系统设置菜单。

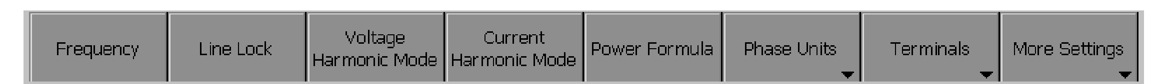


图4-2. 系统菜单的软键

4-6. 频率

设置所需的输出频率。当有任意输出被打开时，如果将频率设置为超出有效带宽的值，仪器就会显示一条错误消息。

4-7. 电源频率锁定（Line locking）

为了保证 6100A 正常工作，除非所选的频率与标称输入电源频率相同，否则请勿选择电源锁定（Line Locking）。

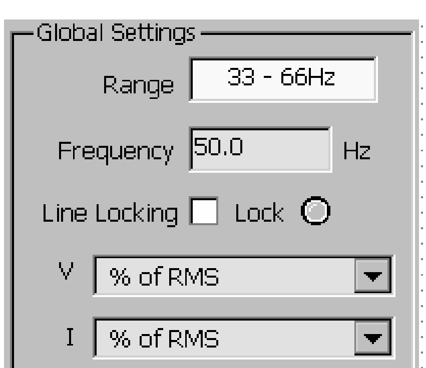


图4-3. 频率、电源锁定

4-8. 谐波编辑模式

选择输入电压和电流谐波的方式。可用的模式如下：

以电压真有效值值的百分比（%）输入谐波。在这种方式下，当添加谐波时，通过降低基波分量使电压真有效值值维持恒定。改变电压真有效值值将改变每一谐波分量。

以基波（1 次谐波）值的百分比（%）输入谐波。在这种方式下，在添加谐波时，基波恒定，而真有效值值发生变化。*注意，如果波形的峰值超过了量程的最大值就会产生一条错误消息。*改变基波值将改变所有的谐波分量。

以相对于基波值的差值（dB 值）输入谐波。在这种方式与基波百分比方式相同。*注意，由于 0 dB 超过了谐波的 30%极限，因此是无效的。*在这种方式下，谐波的最大值为-10.5 dB。

以谐波绝对真有效值值输入谐波。在添加谐波时，输出波形的真有效值值会增大。*注意，如果波形的峰值超过了量程最大值，就会产生一条错误消息。*

4-9. 无功功率的计算方法

利用“SELECT MENU”（选择菜单）键将控制移动到系统设置菜单（Global Settings Menu）。

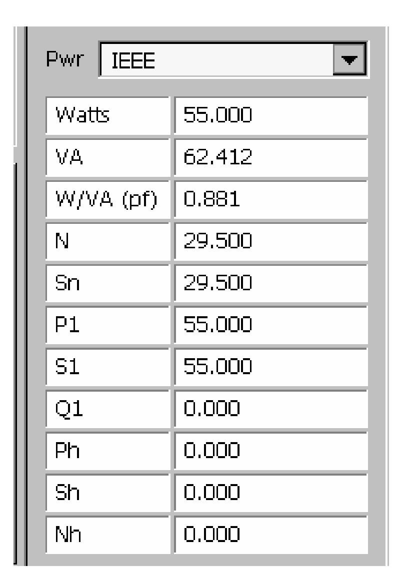


图**4-4.** 无功功率的计算

选择最适合自己需要的无功功率计算方法，可用的六种方法包括：Budeanu、Fryze、Kusters & Moore、Shepherd & Zakikhani、Sharon/Czarnecki 和 IEEE。

4-10. 相位单位

选择“Phase Units”（相位单位）软键，然后选择度（Degrees）或弧度（Radians）。按 ESC 键会返回至上一级软键菜单。

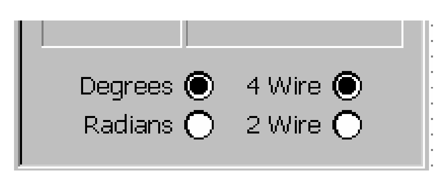


图**4-5.** 系统设置菜单

4-11. 电压输出的 4 线或 2 线连接

即使选择 2 线方式，SENSE 组接线柱和 OUTPUT 接线柱上都存在输出电压。

选择“Terminals”软键，然后选择 2 线或 4 线连接方式。注意，只有在 4 线连接方式下并选择了 4 线连接选项时才能完全达到准确度指标。按 ESC 键返回至上一级软键菜单。



图**4-6. 4** 线**/2** 线选项

随仪器提供的一组电压测试线可用于 2 线或 4 线连接方式。棕色的线连接到 SENSE-HI，蓝色的线连接到 SENSE-LO，红色的线连接到 OUTPUT-HI，黑色的线连接到 OUTPUT-LO。

4-12. 更多设置

按下“More Settings”（更多设置）软键，即可访问 5 个“弹出”式屏幕，以及一个可以将仪器恢复为工厂默认设置的软键。

当按下“Save setup”（保存设置）软键时，仪器就会在内置存储器和软盘中搜索设置文件。可以将在此之前的设置复制到内置存储器或软盘，以及重命名或删除。在保存当前设置时，可以选择“File Name”（文件名）软键，然后利用键盘的字符数字键编辑文件名称。按下“Save”（保存）软键即可保存当前的“系统”设置。

选择“Load Set-up”（加载设置）软键，即可从内置存储器或软盘中恢复以前保存的配置。

注意：保存的设置是整个系统的设置，因此一组三相设置可以被复制到另一套三相系统。当保存设置的系统和加载设置的系统配置不同时，只有适合于加载系统的设置才会被复制。例如，如果将一个三相系统的设置加载到一个单相系统，就仅加载 6100A 的设置。

利用“Set Date and Time”（设置日期和时间）软键，可以修改 6100A 的日期和时间设置。利用“GPIB Settings”软键可以设置总线地址、允许事件状态（ESE）和允许状态登记（SRE）和上电时清除状态（PON）等值。“About”（关于）屏幕显示用户界面和机器软件的详细信息，以及是否安装了某个选件。

4-13. 编辑模式

“DIRECT MODE”（直接模式）键控制着编辑模式。

4-14. 直接模式

在直接模式（Direct Mode）下，“DIRECT MODE”按键的 LED 指示灯是被点亮的。对波形所做的所有修改立即生效。

4-15. 延缓模式

当“DIRECT MODE”（直接模式）按键的 LED 指示灯熄灭时，6100A 处于延缓模式（Deferred Mode）。在该模式下，所做的修改都被保存起来供以后激活。当处于延缓模式时，如果被修改通道的输出是被打开的，则对影响输出波形的区域所做的修改用橙色背景表示。

注意：在激活延缓模式时，输出被关闭时无效的操作输出打开时仍然为无效的操作。例如，输出被关闭时，在激活延缓模式不能改变量程。

请按以下步骤激活延缓模式下的修改：

选择输出菜单软键“Apply All”（应用全部），或者
如果输出已经被打开，按 OPER（运行）键。

以下动作将取消全部处于等待状态的修改：

按下软键“Undo All”（取消全部），

按 STBY（待机）键，或

按“DIRECT MODE”（直接模式）键（编辑模式切换至直接模式）。

4-16. 不能延缓的修改

在延缓模式下，除以下内容外，所有域的修改都将被延缓：

电源频率锁定。
谐波编辑模式的更改（绝对真有效值、真有效值值的百分比，等等）。
功率计算方法。
相位单位选择（度/弧度）。
2 线/4 线选择（因为输出被打开时，不能更改接线端子的配置）。
在延缓模式下，不能更改系统设置下的时间/日期和 GPIB 设置。
在延缓模式下，“加载/保存设置”是无效的。
注：当进入校准模式时，将自动选择直接模式。

4-17. 设置电压和电流波形

以下部分介绍对电压波形的设置，但是也同样适用于电流波形。

将控制转至“Output Menu”（输出菜单），然后按上/下箭头键，直到待设置的电压或电流通道被突出显示。

Output Menu

L1	V	110.000 V, 0.000 Degrees	Disabled	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip
	I	0.500000 A, 0.000 Degrees	Disabled	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip
L2	V	110.000 V, -120.000 Degrees	Disabled	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip
	I	0.500000 A, 0.000 Degrees	Disabled	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip
L3	V	110.000 V, 120.000 Degrees	Disabled	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip
	I	0.500000 A, 0.000 Degrees	Disabled	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip
N	V		Channel	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip
	I		Channel	Sine	Fluct	Inter	Flick	Dip

图4-7. 选择通道

注意：通道必须被“激活”，并且按下 OPER 键时，在接线柱上才会有输出。如果输出已经被打开，但是当前通道并未被激活，按下“Enable/Disable Channel”（激活/禁止）软键时，就会在相应的接线柱上产生输出。

利用“SELECT MENU”（选择菜单）键将控制移动到“Waveform Menu”（波形菜单）。如果必要的话，按 ESC 键，直到显示出顶层软键菜单（图 4-8）。利用相应的软键进行选择，编辑谐波、调制谐波、谐间波、闪变或骤升/骤降。

请谨记，在浏览不同的菜单时，按 ESC 键即可将软键菜单向上返回一层。

Harmonics	Reset Harmonics	Time Domain Graph	Frequency Domain Graph	Copy	Paste		Enable/ Disable Waveshape

图4-8. 波形的顶层软键菜单

4-18. 谐波、直流和正弦波

4-19. 定义

谐波频率是基波的整数倍。在 6100A 中，1 次谐波是基波。直流被表示为 0 次谐波。

4-20. 操作该功能

利用“SELECT MENU”（选择菜单）键将控制移动到“Waveform Menu”（波形菜单），然后从软键中选择“Edit Harmonics”（编辑谐波）。

4-21. 6100A 的技术指标

谐波	2 次到 100 次谐波，最高 6 kHz
可同时使用的谐波	99 个（不包括直流和 1 次谐波）
每一谐波的最大幅值	低于 2850Hz 的谐波的最大值为量程的 30%。（关于高于 2850 Hz 的情况，请参阅第 1 章，1-8 部分）
电流通带带宽设置	1.5kHz 或 6kHz (如果安装了 80A 选件，则为 1.5kHz 或 3kHz)

注意，选择较低的带宽设置会减少可以设置的谐波的数量，但是能够提高感性驱动能力（请参见第 1 章，1-22 节）。

4-22. 正弦/谐波模式

按下“Enable/Disable Waveshape”（激活/禁止波形）软键可以在正弦和谐波模式之间进行切换。

注意，“Output Menu”（输出菜单）中将显示“Sine”（正弦）或“Harmonic”（谐波）。

仅在正弦模式下可以编辑“Range”（量程）、“真有效值”和“Angle”（相位角）区域。有一个例外就是 L1 的电压通道，其相位角被固定为 0.000 度。利用软键或 TAB 键选择所需的输入域。在正弦模式下，直流项是无效的。

以下图 4-9 显示的是选择了时域波形的谐波模式。在图 4-10 中，选择的是频域图形。

注意，图 4-7 在“正弦”模式下显示 L1 电压通道。图 4-9 和图 4-10 在谐波模式下显示 L1 电压。

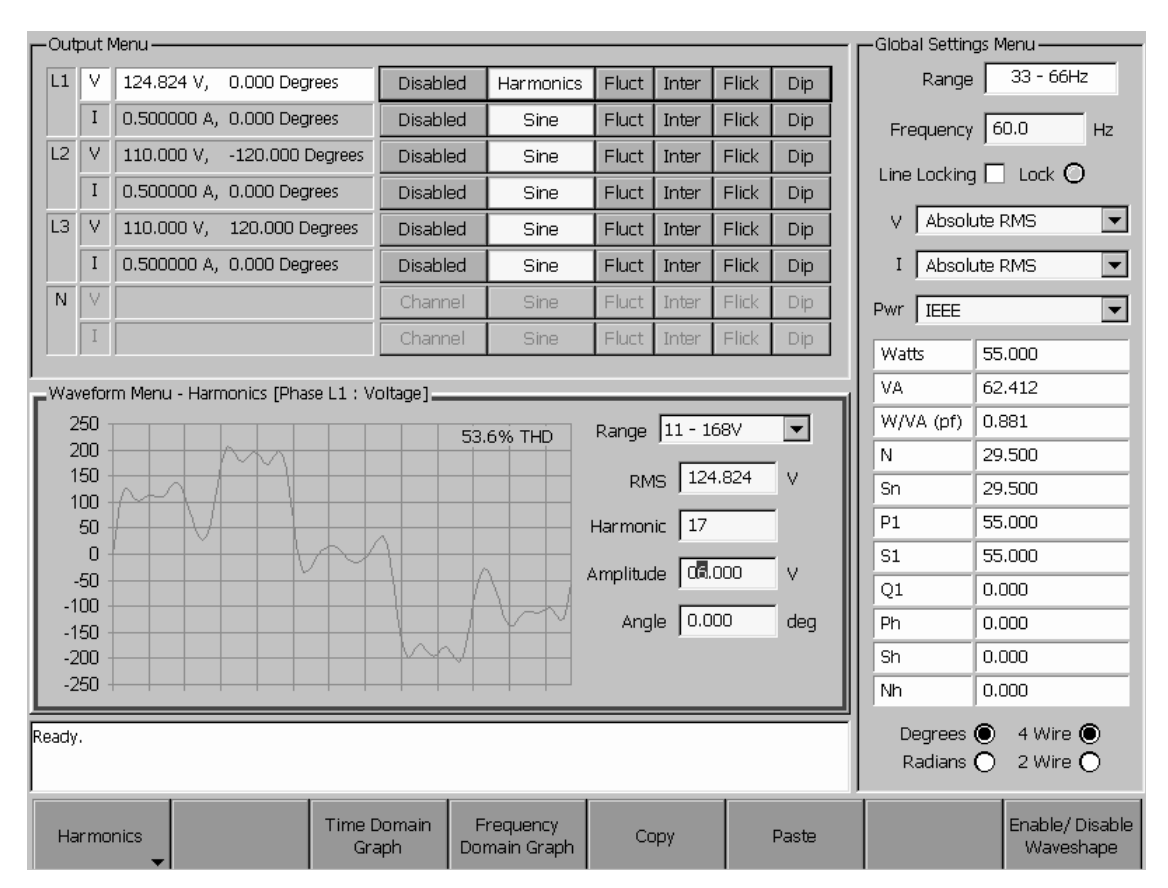


图**4-9.** 时域图形表示的谐波菜单

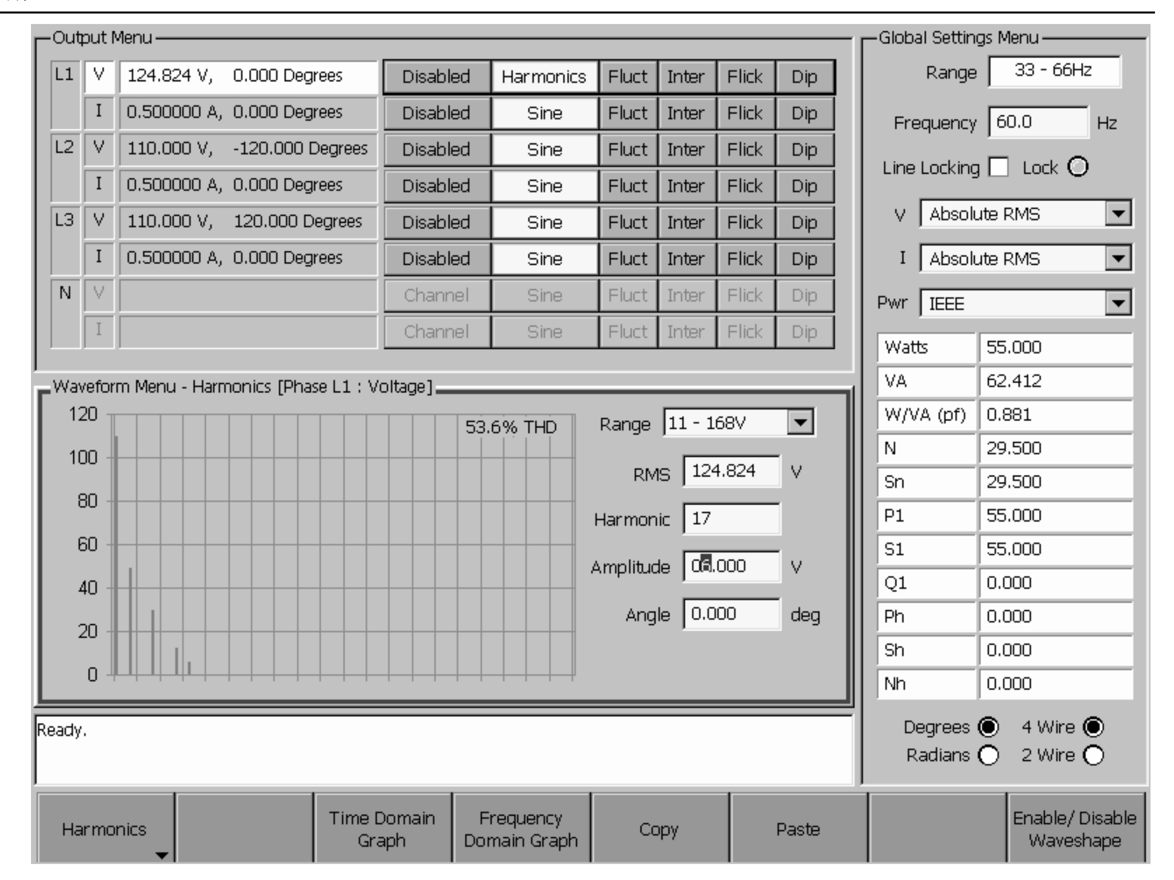


图**4-10.** 频域图形表示的谐波菜单

4-23. 设置谐波和直流

如果系统设置被设置为“percentage of RMS value”（真有效值值的百分比），为了维持真有效值值为恒定，在添加谐波时，基波的幅值将被自动调整。基波的幅值不能更改。

若需添加一个谐波，将“Harmonic”（谐波）域内的值改为所需的值即可。编号为 0 的谐波代表直流分量。

默认的幅值为 0%、-200 dB 或 0V（或 0 A）。默认的谐波相位角为 0 度或 0 弧度。

每当谐在谐波域内的修改数值或谐波幅值被设置为非零值时，就会在波形上添加一个新的谐波，并在图形中显示出来。在该通道的谐波模式被激活之前，谐波不会出现在输出上。

利用“Previous Harmonic”（前一谐波）和“Next Harmonic”（下一谐波）软键可以检查所选的谐波。

“Reset Harmonics”（复位谐波）软键将会从当前通道中清除所有的谐波（参见图 4-11）。

请谨记，在浏览不同的菜单时，按 ESC 键即可将软键菜单向上返回一层。

Harmonics	Reset Harmonics	Time Domain Graph	Frequency Domain Graph	Copy	Paste		Enable/ Disable Waveshape

图4-11. 谐波的顶层软键菜单

Previous Harmonic	Next Harmonic	Remove Harmonic	Range	RMS	Harmonic	Amplitude	Angle

图4-12. 谐波的第二层软键菜单

若需从设置中删除某个谐波，将其幅值设为 0%或者利用“Remove Harmonic”（删除谐波）软键直接删除即可。（参见图 4-12）

按下“Enable/Disable Waveshape”（激活/禁止波形）软键，即可返回至基波菜单，谐波可用于再次应用。图形中仍然保持显示组合波形。（在输出菜单也可以用软键改变正弦/谐波的设置）

4-24. 谐间波

4-25. 定义

一个周期量（交流波形）的频率分量，但该频率分量不是系统工作频率的整数倍。（例如，如果基波为 60 Hz，那么波形中 83 Hz 的分量就是一个谐间波。）

4-26. 操作该功能

利用“SELECT MENU”（选择菜单）键将控制移动到“Waveform Menu”（波形菜单），

然后从软键中选择“Edit Interharmonics”（编辑谐间波）。

请谨记，在浏览不同的菜单时，按 ESC 键即可将软键菜单向上返回一层。

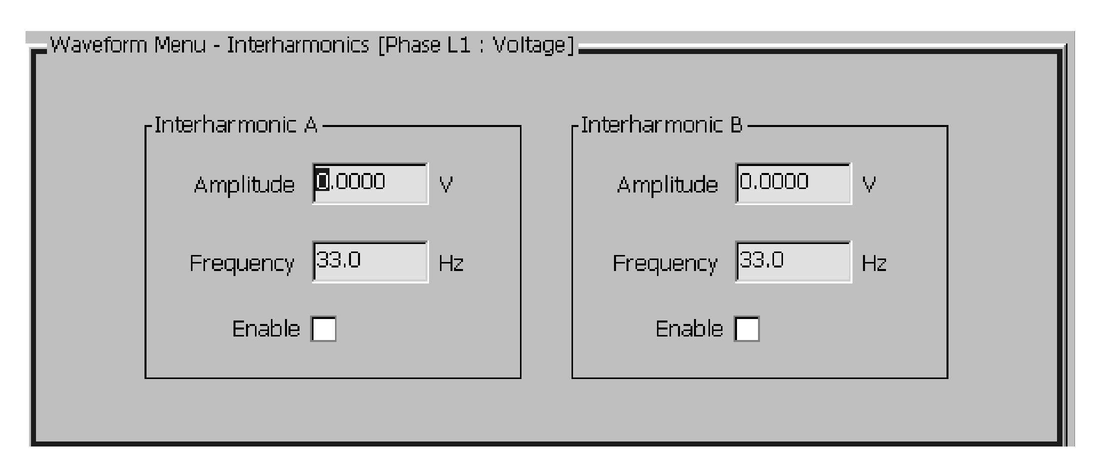


图4-13. 谐间波的波形菜单

4-27. 6100A 的技术指标

频率准确度	50ppm
16Hz 至 < 6kHz 时的幅值准确度	1%
> 6kHz 时的幅值准确度	4%
每一谐间波的最大值	低于 2850Hz 的谐间波的最大值为量程的 30%。（关于高于 2850 Hz 的情况，请参阅第 1 章，1-8 部分）
谐间波的频率范围	16Hz 至 9kHz

4-28. 设置谐间波

可同时应用两个谐间波。可以设置每个谐间波的幅值和频率，利用复选框将其激活。如果输入的值超出了规定的范围，会产生一条错误消息。

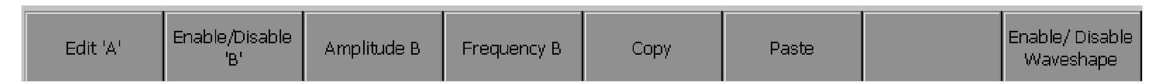


图4-14. 谐间波的软键菜单

从“Waveform Menu”（波形菜单）中利用“Enable/Disable Waveshape”（激活/禁止波形）软键将该功能打开或关闭。或者利用输出菜单中的“Output Menu”（输出菜单）中的“Enable/Disable Interharmonics”（激活/禁止谐间波）软键。

4-29. 调制谐波

4-30. 定义

调制谐波是指保持与基波的谐波关系、但是幅值随时间变化的谐波。如果波形的所有分量的幅值都随时间变化，就相当于闪变。

4-31. 操作该功能

利用“SELECT MENU”（选择菜单）键将控制移动到“Waveform Menu”（波形菜单），然后从软键中选择“Edit Fluct Harmonics”（编辑调制谐波）。

请谨记，在浏览不同的菜单时，按 ESC 键即可将软键菜单向上返回一层。

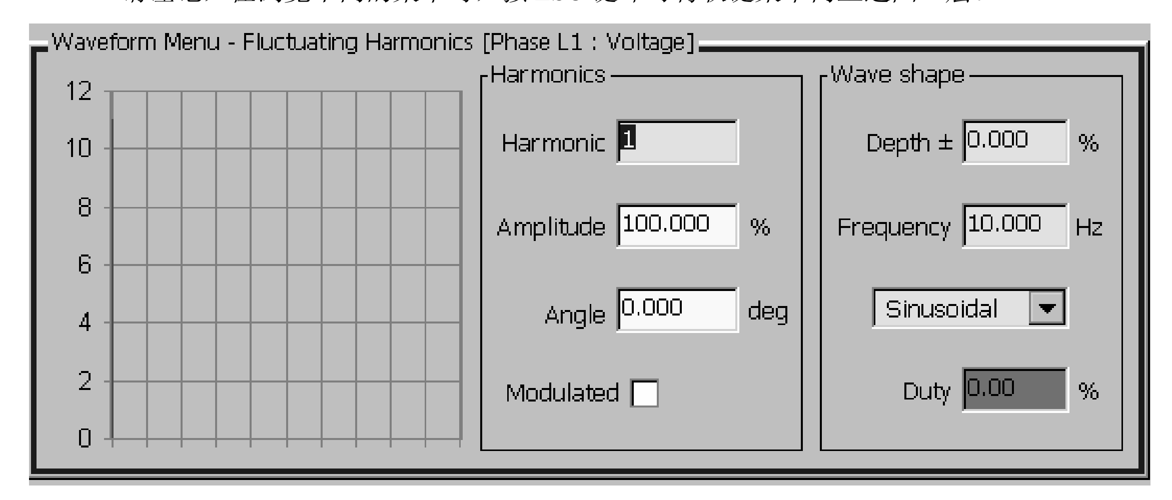


图4-15. 调制谐波的波形菜单

4-32. 6100A 的技术指标

调制谐波的数量	从 0 到所有设置谐波的任何谐波均可调制
调制深度的设置范围[1]	标称谐波电压的 0%至 100%
调制准确度（0%至 30%的调制）	0.025%
调制深度设置的分辨率	0.001%
波形	矩形或正弦波
占空比（波形为矩形）	0.1 %至 99.99 %
调制频率的范围	0.008Hz 至 30Hz
正弦调制的频率准确度	50ppm ±10 µHz
矩形调制的频率准确度	< 1300ppm [2]
调制频率设置分辨率	0.001 Hz

4-33. 设置调制谐波

只能设置现有谐波的调制谐波属性。从“Waveform Menu”（波形菜单）软键中选择“Edit Fluct Harmonics”（编辑调制谐波）。



图4-16. 调制谐波的软键菜单

利用“Previous Harmonic”（前一谐波）、“Next Harmonic”（下一谐波）或“Harmonic”（谐波）软键选择要调制的谐波。“Modulated”（已调制）软键切换“Modulated”（已调制）复选框的状态。

“Waveshape”（波形）软键可以调出另一个软键菜单，可以控制调制的深度、频率和波形。

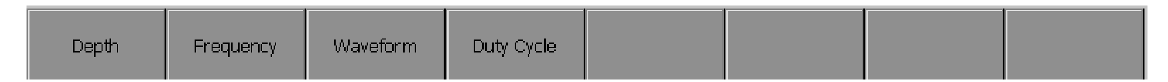


图4-17. 波形软键菜单

从波形菜单中利用“Enable/Disable Waveshape”（激活/禁止波形）软键将该功能打开或关闭。或者利用输出菜单中的“Enable/Disable Fluct Harmonics”（激活/禁止调制谐波）软键。

4-34. 骤升和骤降

尽管骤升和骤降从本质上讲是一种电压现象，但是 6100A 也同样能在电流输出上提供骤升/骤降现象。

4-35. 定义

骤降指的是电气系统的某点上电压突然降低，在非常短的时间周期后电压又马上恢复的现象，时间周期一般从半个周期到几秒钟。而骤升指的是电压增高的现象。

当从外部触发时，骤升/骤降事件在所有骤升/骤降被激活的通道上同时发生。

4-36. 操作该功能

利用“SELECT MENU”（选择菜单）键将控制移动到“Waveform Menu”（波形菜单），然后从软键中选择“Edit Dip”（编辑骤升/骤降）。

请谨记，在浏览不同的菜单时，按 ESC 键即可将软键菜单向上返回一层。

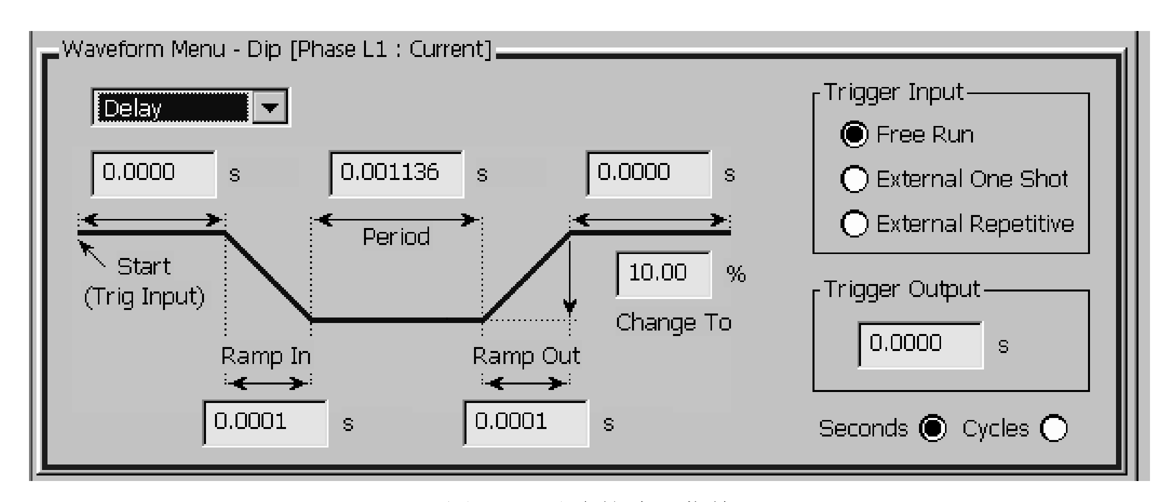


图**4-18.** 骤降的波形菜单

4-37. 6100A 的技术指标

触发输入要求	TTL的下降沿保持低电平持续10 us
二者选一： 触发输入延迟 或者 相对于通道基波过零点的相位角同步	0至 60 秒 ±31µs ±180°±31µs
骤升/骤降的最小持续时间	1 ms
骤升/骤降的最大持续时间	1 分钟
骤降的最小幅值	标称输出的0%
骤升的最大幅值	满量程和标称输出140%中的最小值
斜波上升/下降的周期	100 µs至30秒可设
可选的带延迟重复	0至60秒 ±31µs
起始电平的幅值准确度	电平的±0.025%
骤升/骤降电平的幅值准确度[1]	电平的±0.25%
触发输出延迟	从骤升/骤降事件起始点0至60秒±31µs
触发输出	TTL下降沿附带触发输出延迟末端，保持为低达10µs 至 31µs

4-38. 设置骤升/骤降

骤降波形菜单分为两部分：波形和触发。



图4-19. 骤升/骤降的顶层软键菜单

波形参数

骤升/骤降的起始点可以被设置为延迟一段时间（单位为秒）或者在特定的相位角处。其它所有的参数均能以秒或周期为单位进行设置。

Start On Delay	Start On Phase Angle	Start Delay or Angle	Ramp In	Period	Ramp Out	Change To	End Delay

图4-20. 骤升/骤降波形的软键菜单

Start On Delay（延迟后开始）	在外触发之后延迟一个固定的时间周期
Start on Phase Angle （开始处相位角）	起点由相位角决定。注：为了确保所有相同时开始，该相位角指的是 L1 相的相位角，而与被编程的是哪相的骤降没有关系。
Start Delay or Angle （延迟时间或开始处相位角）	设置可选的延迟值或相位角
Ramp in （进入斜波）	进入斜波的周期
Period （周期）	变为电平处保持的时间
Ramp Out （退出斜波）	退出斜波的周期
Change to （变为）	骤升/骤降所至的值，起始电平的百分比
End delay（结束延迟）	在可以重触发之前所需的最小终结期

触发控制

Free Running	External Trigger	External Repetitive		Trigger Output Delay			

图4-21. 骤升/骤降的触发软键菜单

有三种触发输入模式：

自由触发（Free Running） 骤升/骤降是由内部触发的，由设置参数控制，无限重复。

外部单次触发（External One Shot） 骤升/骤降由连接到 6100A 后面板“TRIGGER INPUT”（触发输入）连接器的外部触发信号触发一次。触发信号必须是 TTL 兼容的。负向跳变引起触发。

外部重复触发（External Repetitive） 骤升/骤降由连接到“TRIGGER INPUT”（触发输入）连接器的单个外部负向触发信号触发，然后在“自由触发”模式下重复，直到改变骤升/骤降的任意参数停止。

仪器提供了一个触发输出信号，用来控制外部设备。任何产生骤升/骤降事件的 6100A 或 6101A 的后面板的“TRIGGER OUTPUT”（触发输出）连接器上都会产生该触发信号。可以将触发输出设置为和触发输入同时发生（0 秒延迟），或者延迟一段时间，延迟时间由“Trigger Output”（触发输出）控制域设置的时间决定。当选择了自由运行或外部重复触发模式时，触发输出的延迟必须小于组合骤升/骤降事件的总时间，以便产生触发输出信号。

从波形菜单中利用“Enable/Disable Waveshape”（激活/禁止波形）软键将该功能打开或关闭。或者，利用“Output Menu”（输出菜单）中的“Enable/Disable Dip”（激活/禁止骤降）软键。

4-39. 闪变

尽管闪变从本质上讲是一种电压现象，但 6100A 功率电能标准源源也同样能在电流输出上提供闪变现象。

4-40. 定义

电压幅值在一定范围之内的重复性波动，会引起照明闪烁现象。闪变的严重程度是由生理感受水平来表征的，被称为 P_{ST} 的指标是短期特性（标称为 10 分钟），被称为 P_{LT} 的指标是长期特性。6100A 所显示的 P_{ST} 值仅对特定的输出设置有效。请参见第 1 章的技术参数。

4-41. 操作该功能

利用“SELECT MENU”（选择菜单）键将控制移动到“Waveform Menu”（波形菜单），然后从软键中选择“Edit Flicker”（编辑闪变）。

请谨记，在浏览不同的菜单时，按 ESC 键即可将软键菜单向上返回一层。

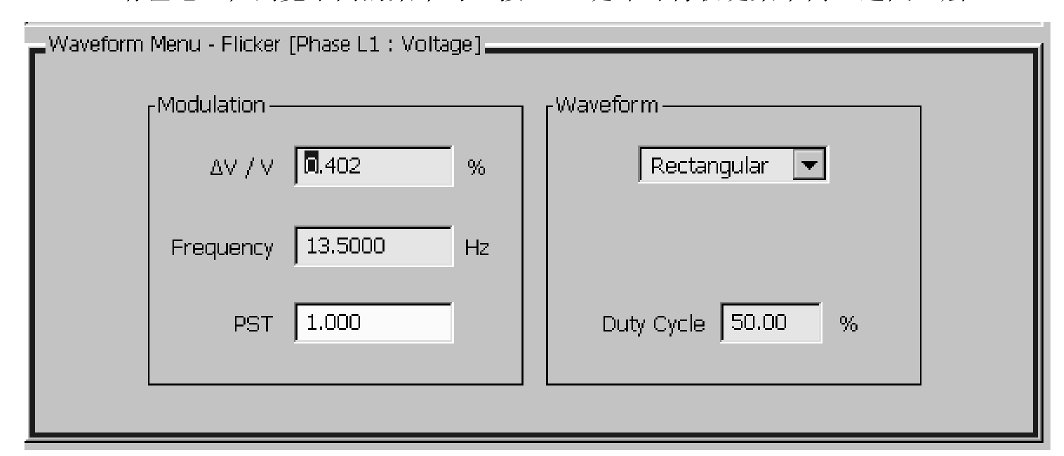


图4-22. 闪变菜单

4-42. 6100A 的技术指标

设置范围	在量程范围之内设置值的±30%（60% ΔV/V）
闪变调制深度准确度	0.025%
调制深度的设置分辨率	0.001%
波形	矩形或正弦波
占空比（波形为矩形）	0.01 %至 99.99 % ±31us
调制频率范围	0.0008Hz 至 40Hz
正弦调制的频率准确度	50ppm ±10 µHz
方波调制的频率准确度	50ppm ±16 µs
调制频率设置分辨率	0.0001 Hz

4-43. 设置闪变

闪变菜单分两部分——调制和波形。

Depth	Frequency	Waveform	Duty Cycle	Copy	Paste		Enable/ Disable Waveshape

图4-23. 闪变软键菜单

调制

深度	最高达设置电压或电流的+/- 30%
频率	闪变频率

波形

正弦波/方波/矩形波	闪变包络的类型
占空比	矩形波的形状

从波形菜单中利用“Enable/Disable Waveshape”（激活/禁止波形）软键将该功能打开或关闭。或者利用输出菜单中的“Enable/Disable Flicker”（激活/禁止闪变）软键。

4-44. 复制和粘贴

每一波形菜单在顶层菜单中都有“Copy”（复制）和“Paste”（粘贴）软键。

4-45. 复制

按下“Copy”（复制）软键即将当前活动波形菜单复制至剪贴板。由于只有一个剪贴板，所以每次按下“Copy”软键时都将覆盖以前的内容。当关闭电源时，剪贴板的内容即被丢弃。

4-46. 粘贴

只要当前波形菜单与剪贴板中的内容类型相同，按下“Paste”（粘贴）软键时，就会将剪贴板的内容复制到另外一个通道。不能从电流通道复制到电压通道。

粘贴操作将清除当前波形菜单中的所有现存数据。

谐波和调制波形菜单共享谐波数据，因此，粘贴谐波数据将更新其它部分使用数据，也就是说，如果将谐波数据粘贴到另一个通道，也将同时粘贴调制设置。

第 5 章

程控操作

（略）

第 6 章
用户维护

6-1. 概述

本章介绍用户如何维护仪器，使 6100A 功率电能标准源保持在最佳工作状态。本章内容覆盖了以下主题：

- 修改用户密码
- 进行仪器可靠性测试
- 更换保险丝
- 清洁空气过滤网和外表面

校准事项在第 7 章讨论。

6-2. 仪器可靠性测试

仪器可靠性测试能够说明仪器性能是否发生了明显退化。对所连接的 6101A 辅机单元的测试是从 6100A 主机上执行的。与定期校准和调节时所做的测试相比，仪器所做的测试相对比较粗略，因此该测试并不用来确定仪器的保养间隔。

注：一些温度（Pic）测试可能会报告百分比 100%错误，但这是正常的，不必担心。

6-3. 设置和运行仪器可靠性测试

利用“Select Menu”（选择菜单）键将控制移动到波形菜单。如果必要的话，可以按 ESC 键，直到显示出顶层软键菜单，请参见图 6-1。

选择“Support Functions”（支持功能）、“Diagnostic Tools”（诊断工具），然后输入用户密码（参见 6-4）。

利用与“Self Test”（自检）弹出式菜单相关的软键，可以：

- 选择要测试的通道，也就时 L1 电压、L1 电流…N 电流。
- 选择要测试通道的那些子部件，也就是所有电路板、DSP 板、控制板，以及第一或第二个从板。
- 启动自检
- 将测试结果保存至软盘

在完成测试设置之后，按下“Start Self Test”（启动自检）键即可启动测试。

请谨记，在浏览不同的菜单时，按 ESC 键即可将软键菜单向上返回一层。

在完成测试之后，在自检菜单中就会出现一份摘要报告。

利用“Test Pathway”（测试路径）菜单可以提供更详细的诊断结果信息，但是这主要是为福禄克服务中心提供的一个工具。尽管测试路径的功能是有效的，但是由于技术内容已经超出了本手册的范围，因此在此不进行详细的介绍。

6-4. 修改用户密码

利用“Select Menu”（选择菜单）键将控制移动到波形菜单。如果必要的话，可以按 ESC 键，直到显示出顶层软键菜单。



图6-1. 波形菜单的顶层软键菜单

选择“Support Functions”（支持功能）、“Diagnostic Tools”（诊断工具），然后输入用户密码。6100A 出厂时的默认密码为“12321”。

选择“Change Password”（修改密码）选项，即会显示出“change the calibration password...”（修改校准密码）弹出式菜单。输入当前密码、新密码，并重复输入新密码。按 Enter 键修改密码（或按 ESC 键取消操作）。

6-5. 操作保险丝

电源保险丝是从后面板那操作的。

 警告

在操作电源保险丝之前，请确保利用后面板的电源开关将 6100A 功率电能标准源关闭，并将电源线从电源输入插座断开。

请按照以下步骤操作保险丝：

1. 断开电源。
2. 利用标准的螺丝刀逆时针方向旋转保险丝容器，直到拆下保险丝容器和保险丝。

请务必使用以下列出的认可的保险丝：

福禄克部件编号及描述：	1998159	T15AH 250V 32mm
保险丝制造商及部件编号：	Bussmann	MDA-15

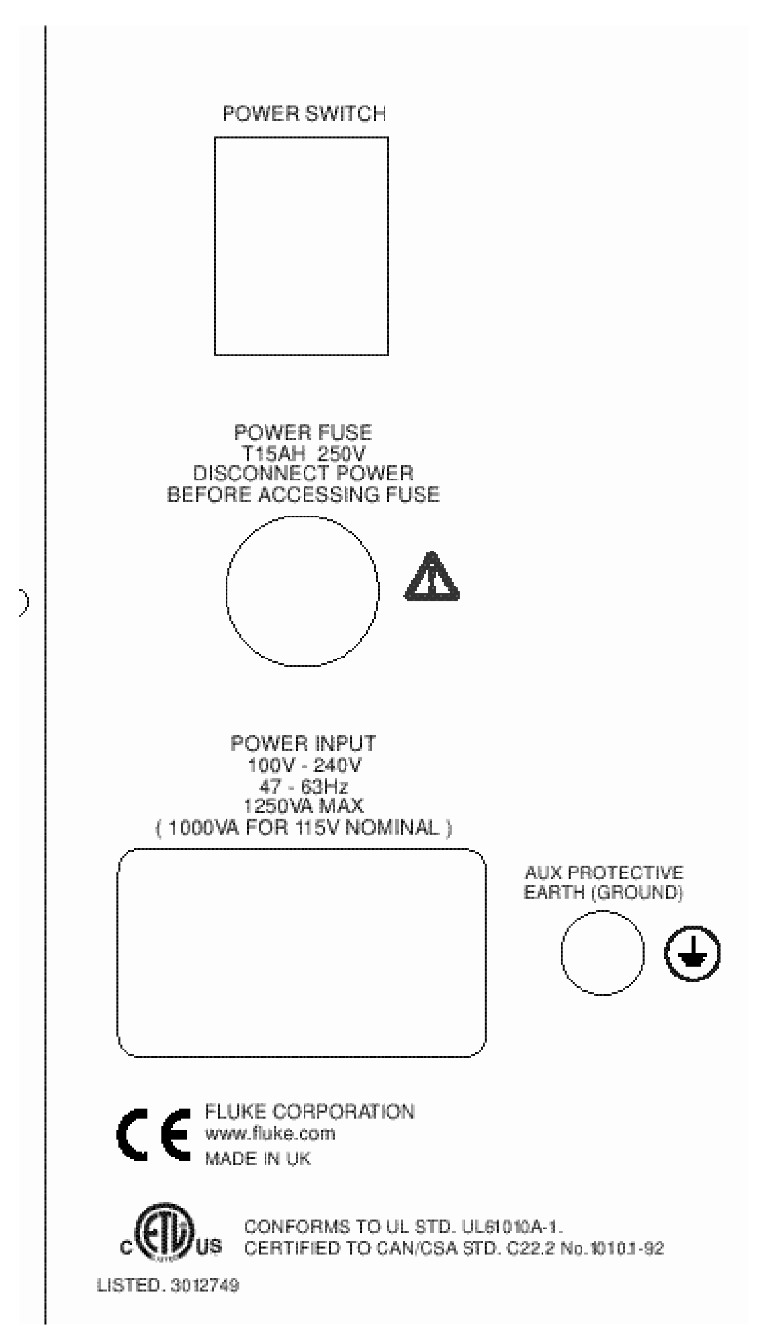

POWER SWITCH
POWER FUSE
T15AH 250V
DISCONNECT POWER
BEFORE ACCESSING FUSE
POWER INPUT
100V - 240V
47 - 63Hz
1250VA MAX
(1000VA FOR 115V NOMINAL)
AUX PROTECTIVE
EARTH (GROUND)
FLUKE CORPORATION
www.fluke.com
MADE IN UK
CONFORMS TO UL STD. UL61010A-1.
CERTIFIED TO CAN/CSA STD. C22.2 No.1010.1-92
LISTED. 3012749

图**6-2.** 后面板的保险丝

6-6. 清洁空气过滤网

⚠ 注意

如果风扇受阻、入口处的空气温度太高或空气过滤网被堵塞，就会发生过热，损坏仪器。

如果在灰尘比较大的环境中使用 6100A 功率电能标准源，则必须每 30 天或更频繁地对空气过滤网进行清洁。空气过滤网是从 6100A 功率电能标准源的后面板进行操作的。

请参照图 7-2，按照以下步骤清洁空气过滤网：

1. 断开电源。
2. 空气过滤网是从仪器的后面板操作的。如果仪器位于工作台上，请确保仪器的后方有 24 英寸的控件，可用来抽出过滤网。
3. 拧开垂直面板顶部和底部的 2 个花头螺钉，然后将过滤网从仪器中抽出来。
4. 用肥皂水清洁过滤网。在重新安装之前，将其冲洗干净并晾干。
5. 重新安装过滤网，拧紧花头螺钉。

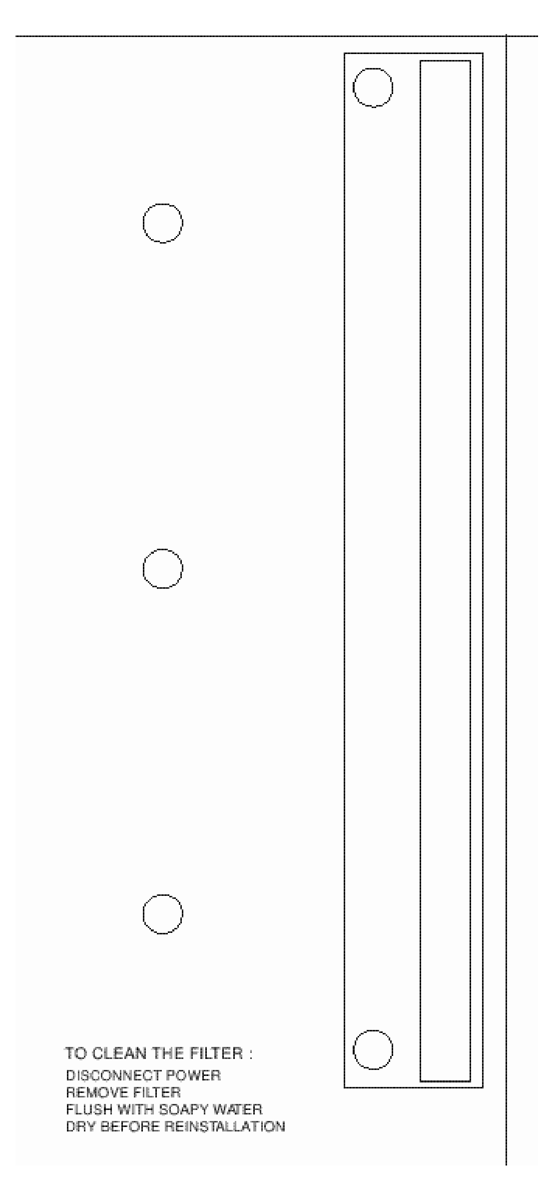


图6-3. 空气过滤网

6-7. 更换锂电池

该仪器内部的 PC 安装有一个锂电池（3V，180mAH，CR2023 纽扣电池）。电池的寿命应超过 10 年。超过这个期限之后，PC 设置和数据信息可能会丢失。应该由福禄克授权的技术人员利用经 UL 认证的等效电池更换该电池。

第 7 章

校准

7-1. 校准方法

7-2. 幅值测量

6100A 功率电能标准源的严格的型式测验表明，正确调整每一通道的电压或电流的相位和增益后，其它所有的技术指标都能满足。因此，通过正弦信号即可完成 6100A/6101A 的校准。由于 6100A 是用采用法测量仪器优化校准的，有些真有效值测量仪表具有数 MHz 的交流输入带宽，不能抑制非谐波分量。所以，这些仪器提供的幅值测量结果可能不同于利用采用法技术获得的结果。采用傅立叶分析方法的采样系统的优势是可以从噪声中析取感兴趣的信号，并产生精确的相位信息。

7-3. 相位测量

有许多种方法可用来测量 6100A 功率电能标准源输出通道的幅值以及通道之间的相位角。电压和电流的幅值可以独立确定，但是相位角的测量则要求进行一定形式的比较。利用过零检测相位仪比较 6100A 的电流和电压输出可以提供该仪器的相位信息。但是这种方法有两项不利因素。

- 比较两个信号的过零点受过零点噪声的影响；而采用法技术至少是从波形上的两个点获得信息。
- 仅仅测量一台仪器电压和电流之间的相位角并不能完成 6100A 和 6101A 的独立校准。每台 6101A 辅机都需要利用 6100A 主机进行校准，以获得电压相对于电压的信息。

如果在校准 6100A 时这些不利因素都是可接受的，那么利用零位检测相位仪一般可以获得 0.050 度的相位不确定度。注意，由于偶次谐波会使复合波形的过零点不同于实际的基波过零点，因此，当存在偶次谐波时，零位检测相位仪可能会给出不正确的结果。而采样技术则可以给出低达 0.0008 度的相位不确定度，而不存在其它谐波影响测量的问题。

7-4. 相位不确定度对功率准确度的影响

由于：功率=V·I·Cos(A)，因此，相位准确度对功率准确度的影响可以用以下的例子说明：

如果相位准确度为 ±0.05°，在标称的 PF = 0.5 下，COS(A)会在 COS(59.95)至 COS(60.05)之间变化，也就是在 0.5008 至 0.4992 之间变化。表示变化范围为：

$$\frac{0.5008-0.4992}{0.5}\times 100\% = 0.3\%$$

如果Φ为设置的相位角，$u(\phi)$为相位准确度，则一般情况下，相位准确度对功率准确度 $u(P)$ 的贡献由下式确定：

$$u(p)=\left(1-\frac{\cos(\Phi+u(\phi))}{\cos(\Phi)}\right)\times 100\%$$

表 7-1 所示为在不同的功率因数下相位不确定度对功率准确度的影响。

相位不确定度	PF = 1.0	PF = 0.75	PF = 0.5	PF = 0.25
0.0008°	±0.000%	±0.001%	±0.002%	±0.005%
0.050°	±0.000%	±0.077%	±0.151%	±0.338%

表7-1. 相位不确定度对功率准确度

7-5. 完全准确度下的校准不确定度

完全达到 6100A 的技术指标所需的测量不确定度如下。也可以使用较低准确度的设备，但是会牺牲 6100A 的准确度。所列校准不确定度都是指 95%置信度下的不确定度。

7-6. 所需的电压幅值校准不确定度

	ppm 量程 或 %
1V 至 1008 V，16 Hz 至 450 Hz	< 30
1V 至 1008 V，450 Hz 至 6 kHz	< 120
1V 至 1008 V，6 kHz 至 9kHz	< 1%

7-7. 所需的电流幅值校准不确定度

	Ppm 量程 或 %
0.25 A 至 5 A，16 Hz 至 450 Hz	< 33
5 A 至 10A，16 Hz 至 450 Hz	< 40
10 A 至 20 A， 16 Hz 至 450 Hz	< 45
0.25 A 至 10 A，450 Hz 至 6 kHz	< 125
10 A 至 20 A， 450 Hz 至 6 kHz	< 160
0.25 A 至 20 A，6 kHz 至 9 kHz	< 1%

7-8. 所需的相位校准不确定度

	相位测量不确定度	
频率	电流至电压	电压至电压
16 Hz – 69 Hz	0.0008°	0.002°
69 Hz – 180 Hz	0.0013°	0.005°
180 Hz – 450 Hz	0.0038°	0.014°
450 Hz – 3 kHz	0.0375°	0.098°
3 kHz – 6 kHz	0.0750°	0.195°

7-9. 所需的设备

提供两份设备清单，分别针对校准 6100A 的两种不同方法。在福禄克服务中心使用的是“福禄克方法”，其测量不确定度可以完全达到 6100A 的技术指标。

而另一种可选的非福禄克方法不能完全达到 6100A 技术指标所规定的准确度，尤其是相位和功率准确度。如果使用可选方法，用户应该自行进行不确定度分析。

测量	福禄克方法	可选方法
系统控制	MET/CAL®	手动控制或定制的自动化方法
采样	Fluke HP3458A/HFL，含直流采样模式下的扩展选件。外加分析软件。	具有相应分析软件的采样法测量设备。
电压幅值变换	交流电压分压器，相位偏移误差很小，并且是已知的	根据需要使用交流电压分压器
电流幅值变换	交流电流分流器，相位偏移误差很小，并且是已知的	需要使用交流电流分流器
电压相对于相位参考信号的相位角	从电压幅值测量获得	定制设计或采用电压至电流的相位测量方法
电流相对于相位参考信号的相位角	从电流幅值测量获得	定制设计或采用电压至电流的相位测量方法
电压至电流的相位角	不需要	Clarke-hess 公司的 model 6000 型相位仪或类似仪器再加上相应的分流器

表7-2. 校准方法

7-10. 6100A 信号发生原理概览

功率电能标准源系统包含一台提供单相电压和电流的 6100A，以及可达最多三台 6101A 辅机。在幅值上，电压和电流通道是相互独立的，但是被共用的内部“相位参考”信号锁定在一起。在工厂对 6100A 进行校准调整时，将电压和电流通道以“相位参考”为标准进行独立的校准。

充分理解 6100A 功率电能标准源产生输出信号的方式有助于讨论校准方法。

7-11. 6100A 和 6101A 的独立性

可以增加最多三台 6101A 辅机单元来提供更多相的信号。每一台 6101A 辅机都保存自身的校准常数，但是需要通过 6100A 进行配置和校准。6100A 主机向其 6101A 辅机提供“相位参考”信号，从而将所有输出通道的相位链接在一起。

由于所有信号的相位都来自于相同的共用相位参考，因此，6101A 辅机单元的校准不依赖于控制它的 6100A 主机。

以下介绍 6100A（L1）的电压通道。和所有其它通道不同的是，除了校准模式之外，L1 电压通道的相位角不能从零修改为其它值。

数字表示的输出波形被采样、转换为模拟信号并进行放大，“模/数”转换过程和随后的放大过程会引入相位偏移，在接线柱上的输出将滞后于数字式波形。图 7-1 所示是规范化后的“相位参考”（数字化的采样波形）和模拟输出信号之间的关系。

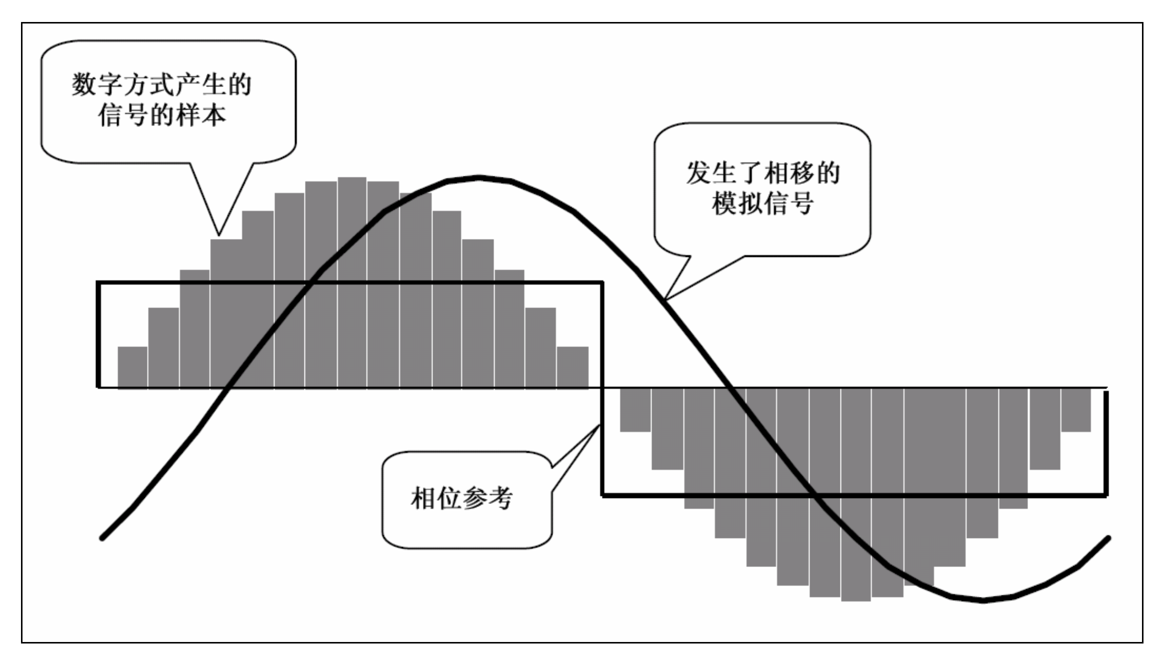


图7-1. 信号发生

相位校准调整的目的是消除相位参考和模拟输出信号之间的相位偏移。图 7-2 所示是调整相位后的数字采样波形，将模拟输出调整到了与相位参考对齐。在实际应用中，会存在一个小的残余相位误差，误差大小由测量准确度所确定。

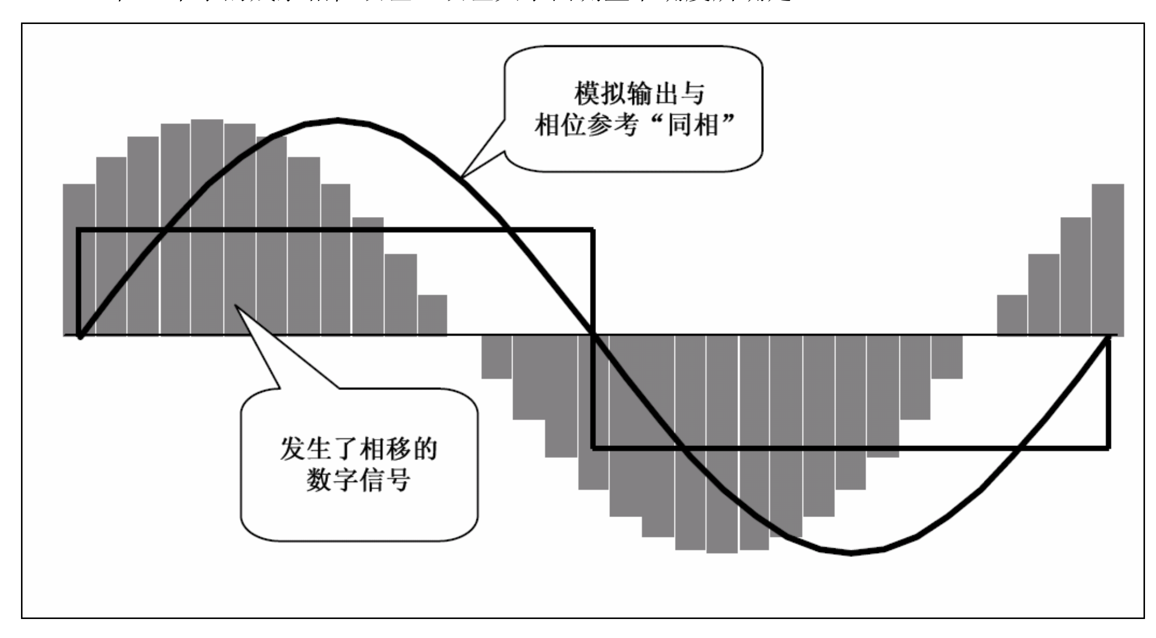


图7-2. 相位调整之后

当电压和电流通道的模拟信号与共用的相位参考“同相”时，电压和电流之间的相位关系及其不确定度是可以确定的，该不确定度就是电压和电流校准调整的残余误差。

除 L1 之外，其它电压通道相对于相位参考的相位关系一般是非零的。尽管如此，也适用相同的原理，模拟信号和相位参考之间的相位角也被设置为一个相应的非零值。

7-12. 福禄克服务中心的校准系统

如 7-11 部分所述，福禄克校准系统将电压和电流通道与系统相位参考进行独立比较。对采样的模拟信号进行傅立叶分析能够产生幅值和相位信息，可用来进行校准和调整。用来数字化的数字多用表是由来自 6100A 的外部信号触发测量的。

触发信号，也就是采样定时参考，与系统的主机相位以及采样周期的起始点具有固定的相位关系。因此，模拟信号的相位关系被固定至相位参考，并且是已知的。

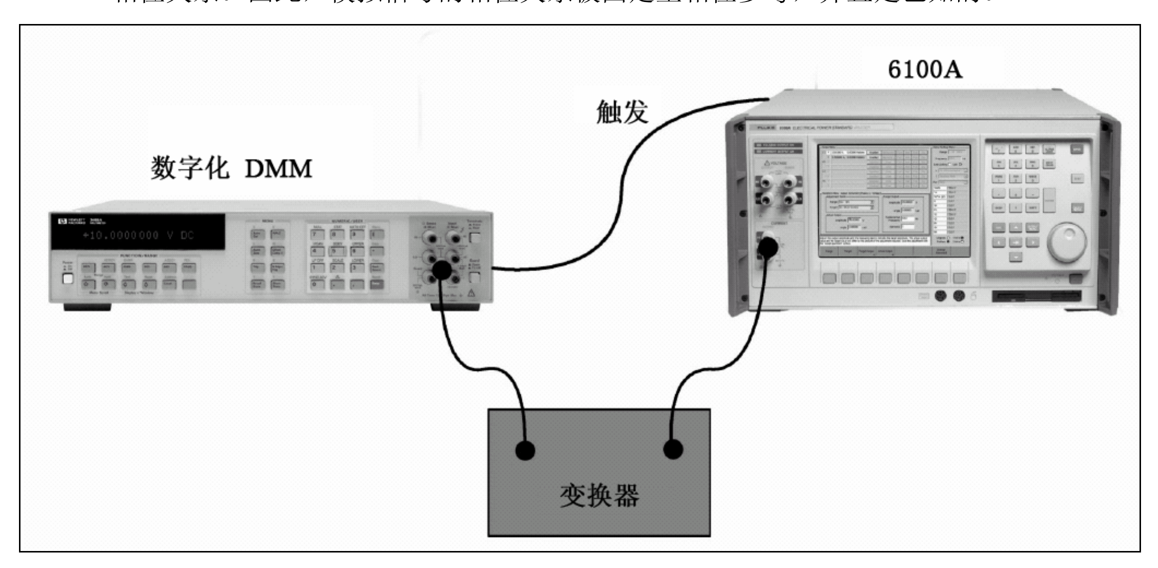


图7-3. 相位测量的连接示意图

图 7-3 所示是 6100A、数字多用表和变换器的连接方法。注意，电压分压器和分流器被用来衰减数字多用表的输入，以获得最佳性能。同一数字多用表被用来校准电压和电流。

采样定时参考输出信号和相位参考信号输出位于 6100A 的后面板。图 7-4 所示为参考信号和模拟输出之间的关系。采样信号由 GPIB 命令关闭或打开。在 ON 命令之后并不会出现采样参考脉冲，直到相位参考信号正向过零点。第一个下降沿和相位参考的上升沿是同时发生的。数字多用表在“触发”信号的每一个下降沿对模拟信号开始进行采样，从而将采样与模拟输出锁相。

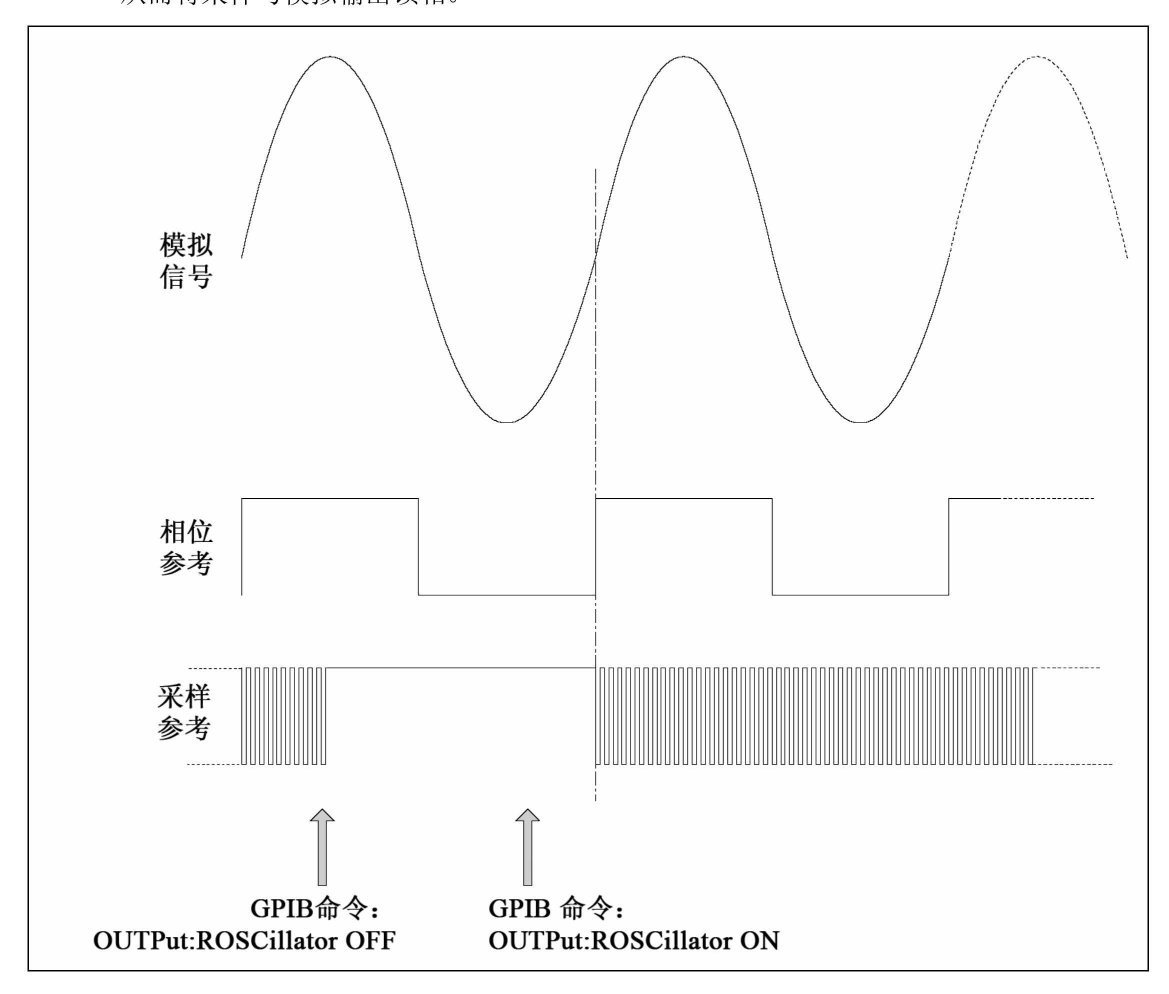


图7-4. 波形

系统软件对数字多用表进行编程，只要所需的最小时间允许，就会采集到所需数量的样本，采样参考“OFF”命令的定时并不是很严格。采样参考的频率总是模拟信号基波的 2 的幂指数倍，从而简化采样数据的分析.

7-13. 校准系统的特性

用变换器将不同的 6100A 输出电压和电流转换为标称 800 mV。采用的数字多用表是含扩展内存选件的 HP3458A/HFL，使用其 1.2 V 直流量程进行所有测量，以降低由于数字多用表产生的相位不确定度，也就是说数字多用表内的电压和电流误差是相同的。每次测量时，DMM 被编程为以 1.4 µs 的采样时间采集 65,536 个样本。至少要用 20%的波形幅值， 这样才能减少由于噪声引起的测量值的变化。在 MET/CAL®软件的控制下，系统是自动化的。下表 7-3 所示为每个基波周期内的样本数，以及在最高可设谐波频率下的最小样本数。

6100A 基波（Hz）	每个基波周期内采样参考脉冲的数量	在最大谐波频率下，每周期内的最小样本量
16 to 32	2048	20
32 to 69	1024	10
69 to 128	512	5
128 to 256	256	5
256 to 512	128	5
512 to 850	64	5

表7-3. 每周期内的样本量

7-14. 变换器

在满量程下，所有变换器的输出均为 800 mV 真有效值。可切换量程的电压变换器被配置到一个系统开关控制单元，以实现完全的自动化。有 6 个电压量程，每一量程均由并联的电容分压器进行补偿，补偿寄生电容和系统数字多用表的输入电容。电压分压器相位不确定度的典型值在 60 Hz 为 0.0002°，在 1500 Hz 为 0.001°。使用了 5 个特殊的同轴分流器，其值分别为 0.5A、2 A、10A、20A 和 80A。

分流器的互感系数为 0.5 nH±0.5 nH。分流器的相移误差不确定度在 60Hz 为 0.0003°，在 1500 Hz 为 0.013°。电压和电流分流器的温度系数均小于 1 ppm/度。

7-15. 数字多用表幅度误差的影响

DMM 的增益和带宽对幅度误差均有影响。通过计算这些误差，并将其与变换器的误差相结合，进行幅度修正。

7-16. 数字多用表幅度相位的影响

DMM 的各种相位误差的影响明显大于变换器相位误差的影响。这些不利影响在电流至电压的相位测量中能够抵消，但是在多相系统的电压至电压的相位测量中却不能。DMM 对相位误差的主要系统性影响有带宽、采样孔径和触发延迟。表 7-4 所示为补偿了 DMM 的相位误差之后，福禄克校准系统能够达到的相移不确定度。

频率	带宽不确定度	触发不确定度	孔径不确定度	组合不确定度	扩展不确定度（k =2）
60 Hz	0.0004	0.0008	0.0000	0.0009	0.0018
6 kHz	0.0441	0.0786	0.0001	0.0901	0.1802

表7-4. DMM 相位误差不确定度（度）

7-17. 电压至电压的相位不确定度

在福禄克服务中心，系统误差通过修正得到补偿。由于 DMM 的的短期稳定性以及测量噪声产生的不确定度，再加上由于电压和电流变换器产生的不确定度，必须进行组合，但是由于典型值仅为 0.00023°，基本是可以忽略不计的。因此，在不同的服务中心，被校准 6100A 和 6101A 的电压至电压相位校准不确定度将在表 7-3 所列的不确定度范围之内。

7-18. 电流至电压的相位不确定度

6100A 或 6101A 的电流输出的相位是相对于同一仪器的电压通道规定的。利用相同的 DMM 相对于共用的采样参考信号来测量电压和电流，就意味着 DMM 的所有相对不确定（不是短期稳定度）和测量噪声被抵消。残留影响（一般为 0.00023°）和变换器的影响相结合，则给出的电流至电压相位的扩展系统不确定度为 0.00049°。

7-19. 调整概述

在一个调整点进行校准所需的步骤就是进入到校准模式，然后针对每一校准点采取以下措施：

- 选择所需的仪器配置
- 通过测量确定 6100A 的误差
- 进行调整

确认残差在可接受的范围之内，并在校准证书上标明。

7-20. 校准调整的步骤

可以在软件配置中对 6100A 功率电能标准源进行调整。选择“Support Functions”（支持功能）—>“Adjust Instrument”（调整仪器）。

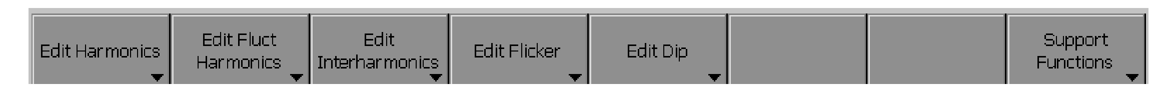


图7-5. 波形菜单的软件

7-21. 进入到校准模式



图7-6. 密码提示

默认的密码为“12321”。可以通过“Change Password”（修改密码）软键修改密码（请参见第 6 章）。密码中可以使用 6100A 前面板中可以输入的任何字符和数字。

7-22. 选择仪器配置

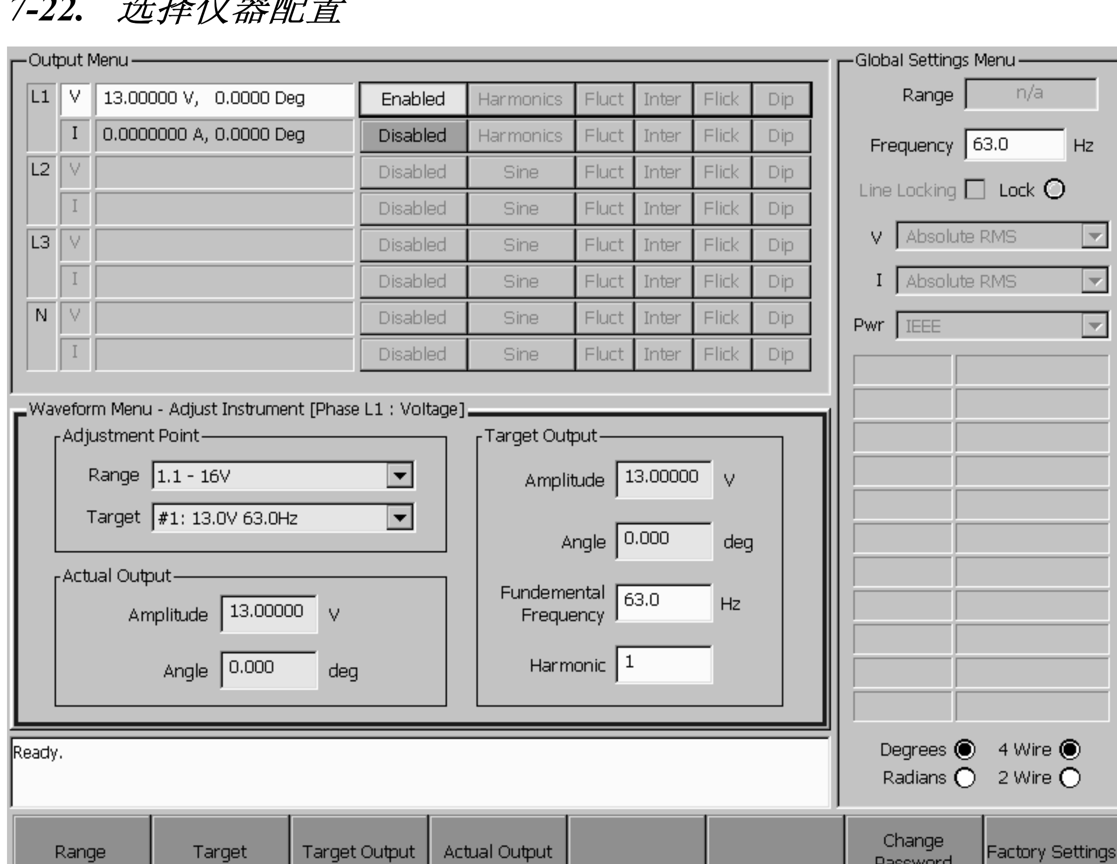


图7-7. 校准调整仪器时的屏幕显示

通过“Output Menu”（输出菜单）选择要调整的仪器（L1、L2，等）和通道。

选择所需的量程

选择所需的*目标值*（*Target*）

对于电压校准，请确保选择 4 线方式

注意，当进入校准模式后，电源频率锁定功能是无效的。当从校准模式退出时，会恢复到之前的状态。

7-23. *确定 6100A/6101 的误差*

确保测量设备已被正确配置、连接正确，将 6100A/6101A 的输出打开。在 6100A/6101A 和测量设备达到稳定之后，针对每一部分进行调整：

记录下*目标值*（*Target*，T）和测得值（M）之差（D）：D= T - M

计算所需的*实际值*（*Actual*）：Actual= T + D（也等于 2T-M）

在"*Actual*"（实际值）输入区域输入*实际*值。

7-24. *开始调整*

按"Accept adjustment"（接受调整）

6100A/6101A 仪器就会保存幅值和相位校准常数。

等 6100A/6101A 和测量设备达到稳定后：

如果残差在允许范围之内，在校准证书上标明幅度和相位误差。

否则，重复以上校准调整过程，直到检定测量结果在所需公差范围之内。

7-25. *检定*

下表中列出的 6100A 贡献假设是在调整后一个小时内用相同的设备、在相同的温度下进行的检定测量。6100 贡献是在 k = 2 时大约 1 小时的稳定度指标（置信度大约为 95%）。在下表中，相位测量是幅度测量的一部分，因此仪器的幅度设置与相应的幅度测量是相同的。95 次谐波的幅度设置超出了谐波的正常范围，仅能在调整模式下进行设置。在这种特殊应用中，较高的幅度可以降低随机噪声的影响，从而使准确度最高。

建议将测量的标准偏差加到 6100A 的贡献，作为合成检定允差。

注：由于不含参考标准的校准不确定度，因此得到的检定允差不等同于校准不确定度。

7-26. 校准调整检定记录

7-27. 电压调整点

量程 (V)	频　率 (Hz)	谐波次数		设置	6100A/6101A 贡献	测量的标准偏差	组合检定允差 (高)	组合检定允差 (低)	结果
1.1 – 16	0	0	直流偏差		±0.9 mV				
1.1 – 16	63	1	幅度	13 V	±0.9 mV				
			相位	0°	±0.0002°				
1.1 – 16	5985	95	幅度	13 V	±1.6 mV				
			相位	0°	±0.001°				
2.3 – 33	0	0	直流偏差		±1 mV				
2.3 – 33	63	1	幅度	26 V	±1.6 mV				
			相位	0°	±0.0002°				
2.3 – 33	5985	95	幅度	26 V	±2.4 mV				
			相位	0°	±0.001°				
5.6 – 78	0	0	直流偏差		±1 mV				
5.6 – 78	63	1	幅度	65 V	±3.4 mV				
			相位	0°	±0.0002°				
5.6 – 78	5985	95	幅度	65 V	±4.7 mV				
			相位	0°	±0.001°				
11 – 168	0	0	直流偏移		±0.004 mV				
11 – 168	63	1	幅度	130 V	±6.7 mV				
			相位	0°	±0.0002°				
11 – 168	5985	95	幅度	130 V	±9.3 mV				
			相位	0°	±0.001°				
23 – 336	0	0	直流偏移		±0.008 mV				
23 – 336	63	1	幅度	260 V	±13.4 mV				
			相位	0°	±0.0002°				
23 – 336	5985	95	幅度	200 V	±15 mV				
			相位	0°	±0.001°				
70 – 1008	0	0	直流偏移		±0.050 mV				
70 – 1008	63	1	幅度	800 V	±90 mV				
			相位	0°	±0.0002°				
70 – 1008	5985	95	幅度	300 V	±55 mV				
			相位	0°	±0.100°				

7-28. 电流调整点

量程 (A)	频 率 (Hz)	谐波次数		设置	6100A/6101A 贡献	测量标准偏差	组合检定允差 (高)	组合检定允差 (低)	结果
0.05 – 0.25	0	0	直流偏移		±10 µA				
0.05 – 0.25	63	1	幅度	0.2 A	±13 µA				
			相位	0°	±0.0002°				
0.05 – 0.25	5985	95	幅度	0.2 A	±23 µA				
			相位	0°	±0.001°				
0.05 – 0.5	0	0	直流偏移		±20 µA				
0.05 – 0.5	63	1	Amplitude 幅度	0.4 A	±25 µA				
			Phase 相位	0°	±0.0002°				
0.05 – 0.5	5985	95	幅度	0.4 A	±45 µA				
			Phase 相位	0°	±0.001°				
0.1 – 1	0	0	直流偏移		±40 µA				
0.1 – 1	63	1	幅度	0.8 A	±50 µA				
			相位	0°	±0.0002°				
0.1 – 1	5985	95	幅度	0.8 A	±90 µA				
			相位	0°	±0.001°				
0.2 – 2	0	0	直流偏移		±80 µA				
0.2 – 2	63	1	幅度	1.6 A	±100 µA				
			相位	0°	±0.0002°				
0.2 – 2	5985	95	幅度	1.6 A	±180 µA				
			相位	0°	±0.001°				
0.5 – 5	0	0	直流偏移		±200 µA				
0.5 – 5	63	1	幅度	4 A	±300 µA				
			相位	0°	±0.0003°				
0.5 – 5	5985	95	幅度	4 A	±450 µA				
			相位	0°	±0.001°				
1 – 10	0	0	直流偏移		±400 µA				
1 – 10	63	1	幅度	8 A	±660 µA				
			相位	0°	±0.0003°				
1 – 10	5985	95	幅度	8 A	±980 µA				
			相位	0°	±0.002°				
2 – 21	0	0	直流偏移		±2 mA				
2 – 21	63	1	幅度	16 A	±1.74 mA				
			Phase 相位	0°	±0.0003°				
2 – 21	5985	95	Amplitude 幅度	16 A	±2.2 mA				
			Phase 相位	0°	±0.002°				

7-29. 80A 选件（如果已安装）的电流调整点

量程(A)	频率 (Hz)	谐波次数		设置	6100A/6101A 贡献	测量的标准偏差	组合检定允差 (高)	组合检定允差 (低)	结果
8 – 0.80	63	1	Amplitude 幅度	64 A	±8 mA				
			Phase 相位	0°	±0.0005°				
	2961	47	Amplitude 幅度	64 A	±11 mA				
			Phase 相位	0°	±0.002°				

7-30. 电流端子上电压的调整点

量程(A)	频率 (Hz)	谐波次数		设置	6100A/6101A 贡献	测量的标准偏差	组合检定允差 (高)	组合检定允差 (低)	结果
0.05 – 0.25	0	0	直流偏移		±25 μV				
0.05 – 0.25	63	1	幅度	0.2 V	±25 μV				
			相位	0°	±0.0002°				
0.05 – 0.25	5985	95	幅度	0.2 V	±35 μV				
			相位	0°	±0.001°				
0.15 – 1.5	0	0	直流偏移		±60 μV				
0.15 – 1.5	63	1	幅度	1.2 V	±80 μV				
			位	0°	±0.0002°				
0.15 – 1.5	5985	95	幅度	1.2 V	±145 μV				
			相位	0°	±0.001°				
1 – 10	0	0	直流偏移		±400 μV				
1 – 10	63	1	幅度	8 V	±520 μV				
			相位	0°	±0.0002°				
1 – 10	5985	95	幅度	8 V	±950 μV				
			相位	0°	±0.001°				

第 8 章
“电能”选件

8-1. 概述

本章介绍 6100A 功率电能标准源的“电能”选件。在本章中包括了以下内容：

- 电能选件的技术指标
- 电能选件的前面板操作
- 电能选件的程控操作
- 电能选件的校准

8-2. 功能性概述

电能表会提供一个脉冲串，脉冲频率与加到电压和电流输入端子上的功率成正比。总脉冲表示提供的总电能。6100A 有 6 个脉冲输入，可以将其配置为与被测电能表（MUT）和参考电能表联合使用。6100A 还提供了一个脉冲串输出，表示计算得到系统的理论输出功率，提供一个“理想的”脉冲串参考。一个门信号可用来在测试期间开关外部设备，或者让用户以电子方式控制测试的持续时间。电能脉冲输出和电能门信号输入/输出 BNC 连接器安装在 6100A 的后面板。

8-3. 工作原理

可以将一个或多个 MUT 连接到 6100A 或 6101A 辅机的电压和电流端子。测试时计算在特定的周期内接收到的脉冲数量。将结果与理论上的电能总量相比较，或者与并联到 MUT 的参考源进行比较。测试的持续时间是通过指定一个限制条件来设置的，限制条件可以是绝对时间、提供的电能总量，或者从任意 MUT 或参考电能表通道累积的电能（表示为电能或脉冲数）。可以将输入通道联合起来，用 3 组单相脉冲串来表示一个三相的源，或者将多达 3 个参考电能表进行平均。

8-4. 限制

6100A 是一款精密参考源，可以输出独立的电压、电流，以及“虚负载功率”。和一般电源不同的是，6100A 和 6101A 有一个闭环反馈系统，确保输出波形总是所需要的形式。严重非线性负载，例如电子仪器的电源，会破坏 6100A 和 6101A 维持正确输出状态的能力。试图从 6100A 系统为电能表提供电源可能会引起 6100A 和 6101A 的输出发生跳闸或产生错误的读数。请将电能表的供电电源连接到相应的外部电源。6100A 和 6101A 的输出能力在第 1 章的技术指标部分介绍。

6100A 计算的理论输出功率在正弦和谐波模式下是准确的。添加闪变、骤降、调制谐波或谐间波会降低输出功率计算的准确度，从而降低 MUT 误差计算的准确度。如果使用了参考电能表，测量准确度则取决于参考电能表测量非正弦信号和调幅信号输入的性能。

8-5. 电能技术指标

8-6. 脉冲输入

最大频率	5MHz
最小脉宽	60ns
每通道的最大脉冲数量	2^{32}-1 (4,294,967,295)

8-7. 脉冲和门信号输入

输入低电平的最大值	1V
输入高电平的最小值	3V
内部上拉值	135Ω 和 940Ω 至 4.5V 标称值 （大约等效于 150Ω/1kΩ 至 5V 标称值）
最大输入电压	28V (在大约 30V 时箝位) [1]
最小输入电压	0V (在大约 -0.5V 时箝位) [1]

8-8. 脉冲输出

驱动	集电极开路，可选内部 470Ω 上拉
频率范围	0.011Hz – 5MHz
频率准确度	±(50ppm + 107nHz)
外部上拉电压	最大 30V（箝位）[1]
吸收电流	最大 150 mA

8-9. 门信号输出

驱动	漏极开路
内部上拉	同门信号输入
最大上拉电压	最大 30 V（箝位）[1]
吸收电流	最大 1A

[1] 输入/输出保护：箝位至 30V / -0.5V（大约值），最大每信号 120 mA，或所有信号共最大 300 mA。

8-10. 准确度

技术/定时准确度	±(50ppm + 60ns)
包模式准确度 (ppm)	±(输出功率 (ppm) + 50ppm + 101,000/测试周期 (s))

当使用的脉冲输入频率非常低（< 1 Hz）时，瞬时功率和频率显示可能不稳定，且/或具有非常差的分辨率。但是，累积的电能或计数总是准确的。

8-11. 测试周期

最大测试周期	2500 小时

8-12. 使用电能选件的准备

根据需要设置 L1（以及 L2 和 L3）的电压和电流输出组合。关于仪器前面板操作方法的说明请参阅第 3 章和第 4 章。将要使用的通道*激活*，但是不要将输出打开。

若要进入电能模式，请将控制移动至波形菜单，按 ESC 键，直到显示出顶层软键菜单，如图 8-1 所示。

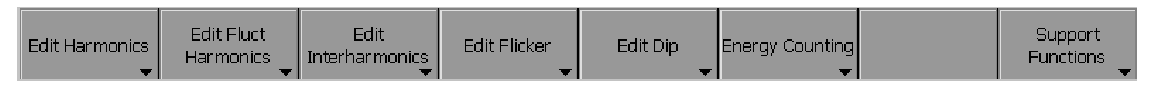


图8-1. 波形菜单的顶层软键菜单

按“Energy Counting”（电能表计数）软键，进入到电能模式。图 8-2 所示为由波形菜单中导入的电能模式界面。关于可用测试模式的详细描述，请参阅 8-19 部分。

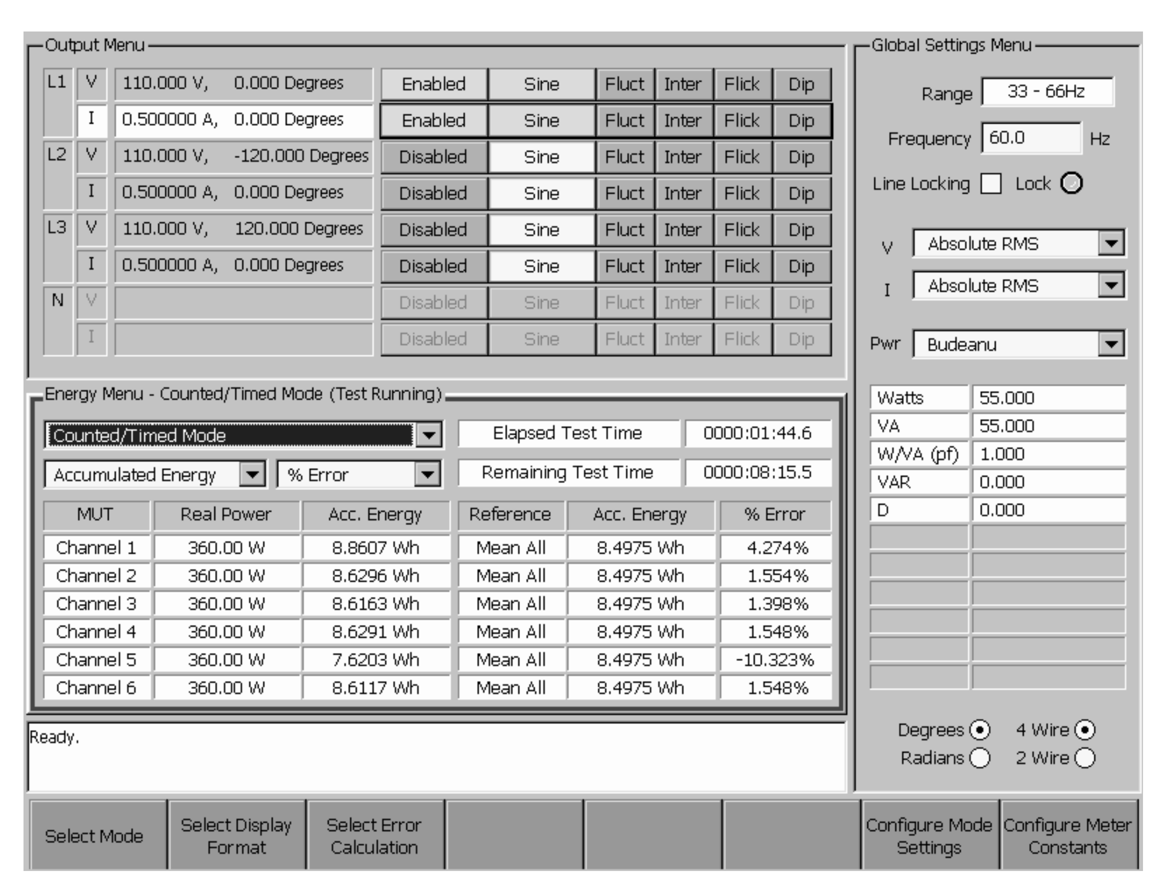


图8-2. 电能模式

8-13. 输入通道配置和电能表常数

系统首先必须按所需的 MUT 和参考电能表设置。按“Configure Meter Constants”（配置功率计常数）软键，调出配置选项。

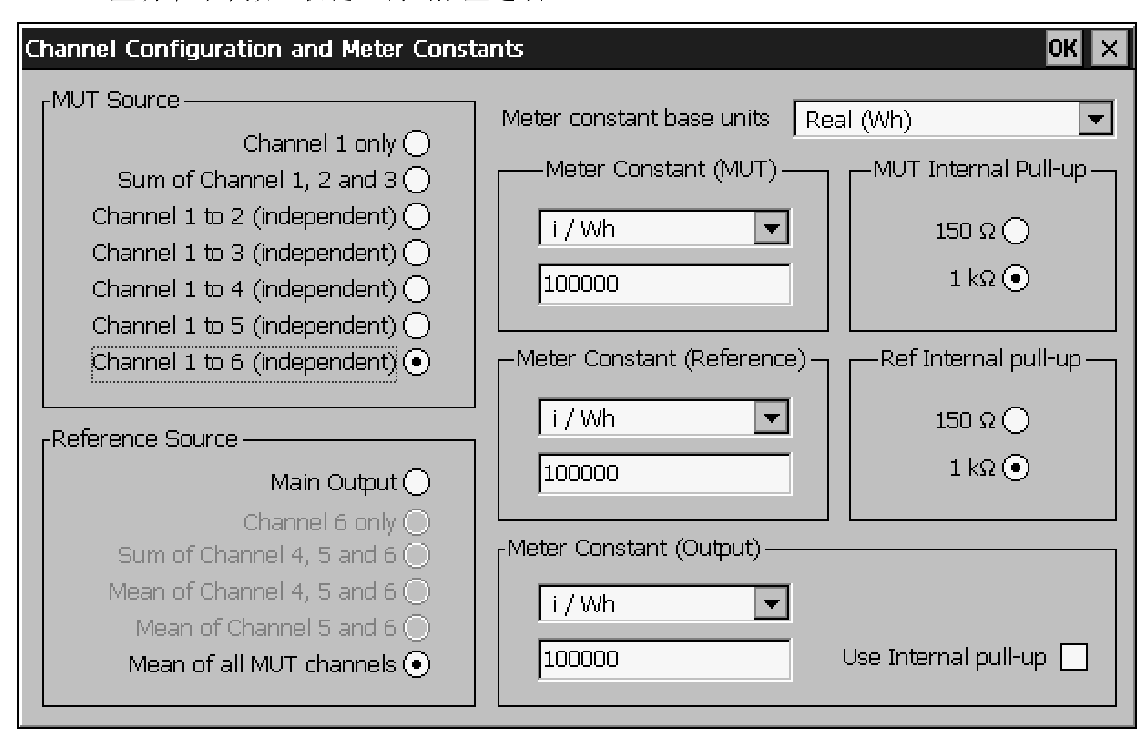


图8-3. 输入通道的配置和功率计常数

8-14. 连接 MUT 和参考功率计

在将 MUT 连接到通道时，首先连接最低编号的通道，然后逐步向上。例如，三个 MUT 应该连接到通道 1、2 和 3。如果使用了参考电能表，则应该首先连至接最高编号的通道，然后依次向下。例如，如果使用了一个参考电能表，则应该将其连接到通道 6。从配置对话框左边的列表中选择所需的 MUT 和参考电能表组合。如果将“Main Output”（主输出）选择为参考，MUT 则应该和代表系统的理论电能输出的脉冲输出信号进行比较。

8-15. 电能的“类型”

必须选择测试中被测电能的类型：有功功率（Wh）、视在功率（VAh）或无功功率（VARh）。该设置应该与 MUT 和参考电能表的设置相匹配。然后需要指定电能表常数。一个值用于所有的 MUT，一个值用于所有的参考电能表。

8-16. 内部上拉电阻

每一组输入（MUT 和参考电能表）可能有 150 Ω或 1 kΩ 的上拉电阻连接到 6100A。建议尽量使用 150 Ω，以获得较高的频率脉冲率。

8-17. 电能脉冲输出电能表常数和上拉

可以设置一个值，规定脉冲输出连接器上有效电能表常数。只要激活电能测试，该输出就是一个脉冲串，代表系统中所有 6100A/6101A 的当前 V/I 输出的总功率和电能。电能脉冲输出有一个用户可选的内部上拉电阻。利用“Use Internal Pull-up”（使用内部上拉电阻）选择框可以选择和取消选择该上拉电阻。除非连接到电能脉冲输出的设备不提供上拉电阻，应该不选择使用内部上拉电阻（复选框未选中）。

8-18. 进行测试

按“Enter”键接受最新定义的值，或者按“ESC”键取消所有修改。按“OPER”键起动测试。在进行测试时，用户不能退出（ESC）电能屏幕。若需中止测试，请按 STBY（待命）键。

在测试期间，电能屏幕将显示与用户的通道配置相对应的几行数字。同时还显示脉冲率和总脉冲数，根据“Display Units”（显示单位）的设置，可能显示功率、电能或频率、计数。累积的总量和指定的参考源进行比较，并显示一个误差值或读数百分比。按下相应的软键激活列表框，利用光标可以修改这些显示参数的数值。同时还显示测试已经过去的时间和剩余的时间。在某些模式组合，剩余时间可能是估算时间。

8-19. 测试模式

有 4 种测试模式。

Select Mode	Select Display Format	Select Error Calculation				Configure Mode Settings	Configure Meter Constants

图8-4. 电能的顶层软键菜单

若需更改模式，按“Select Mode”（选择模式）软键，然后利用上/下箭头键循环查看可用的模式。在每一模式下，按下“Configure Mode”（配置模式）软键，即可在当前所选模式的配置对话框中修改测试参数。

8-20. 自由运行模式

在自由运行模式（Free Run）下，功率被加到 MUT，并且保存计数值，记录从每一 MUT 接收到的脉冲数。测试将连续运行，直到用户中止测试。该模式仅供对性能进行大概的比较，但是也可用于在调整或爬行试验时监测 MUT。

8-21. 计数/定时模式

计数/定时模式的目的是使得当 6100A 和 MUT 在预热后完全稳定，以及 6100A 的输出被打开并达到稳定时再进行测试。最小预热时间为 2 秒。

在该模式下，当按下 OPER 键时，源功率立即被加到 MUT，但是并不开始进行比较，直到已经达到指定的预热周期。预热时间和测试周期均可自由指定按任何已配置通道上的时间、电能值或计数值。如果预热时间按电能表计数值指定，则必须确保指定的计数值至少等效于 2 秒。

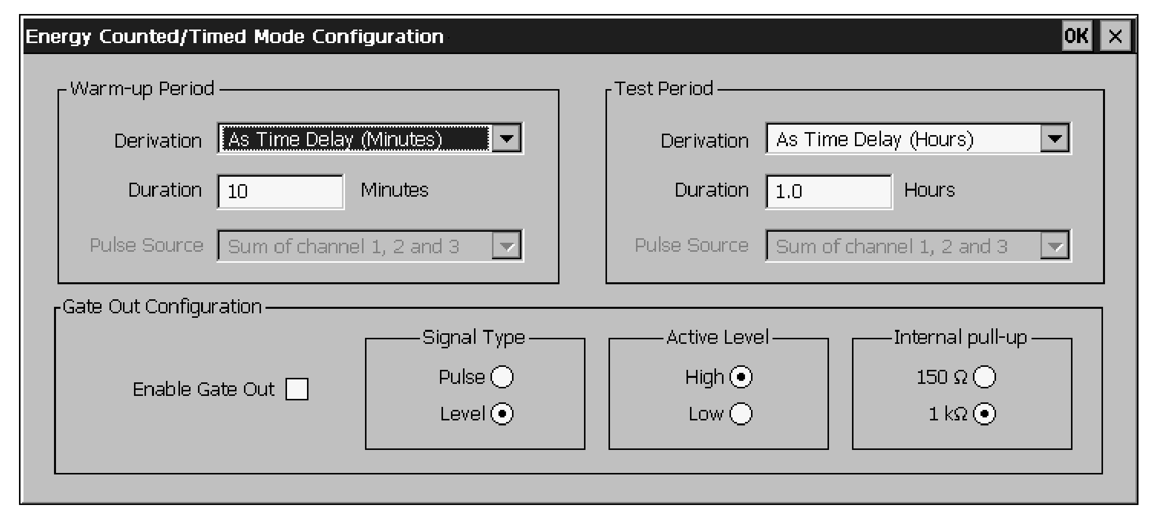


图8-5. 计数/定时模式的配置

如果需要，可以激活一个门输出信号。这个门信号在实际测试周期（不是预热时间和稳定时间）有效。这个门信号可以为所需周期的有效电平，或者为为启动和结束脉冲，还可以设置为高电平有效或低电平有效。

在计数/定时模式下，MUT 和参考电能表的计数值可能比 6100A 电能测得的总量提前。这是正常的，表示包括了测试的稳定期间和预热期间的计数。得到显示结果的实际测试周期和实际计数是准确的。

8-22. 门控模式

在门控模式下，“Energy Gate”（电能门控）连接器（在后面板）变为输入端。当按下 OPER 键时，功率即被加到 MUT。只有当门信号变为“有效”时，才会进行计数。当门信号变为无效时，测试端子和 6100A 的输出被关闭。

如果第一次将功率加到 MUT 和门信号变为有效之间的时间周期超过 2 秒，则门控模式的准确度和计数/定时模式的准确度是相同的。

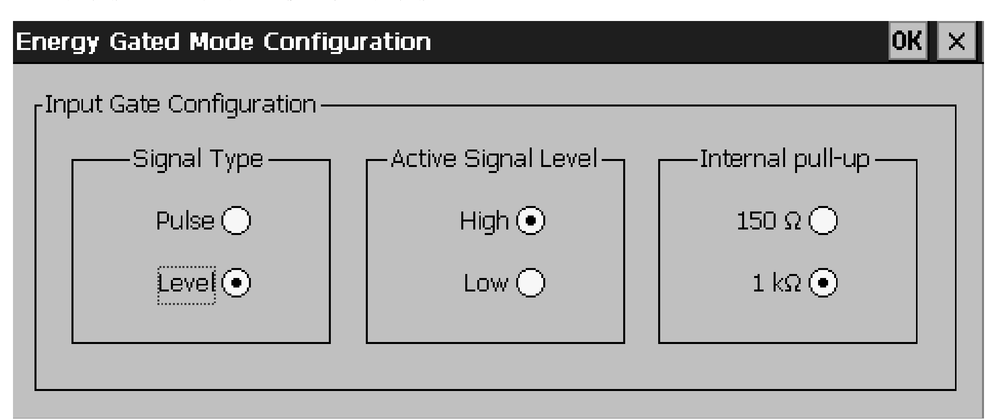


图8-6. 门控模式的配置

在门控模式下，MUT 和参考电能表的计数值可能比 6100A 电能选件测得的总量提前。这是因为在门信号变为有效之前，计数超前开始了。6100A 显示的计数将准确显示在门信号有效的时间周期内接收到的脉冲数量。

8-23. 包模式

在包模式下，主输出端子上的功率按所需的电能定时提供，这样的优势是 MUT 的计数值将非常紧密地匹配预期总量，而不像其它模式一样有稳定时间和预热时间。

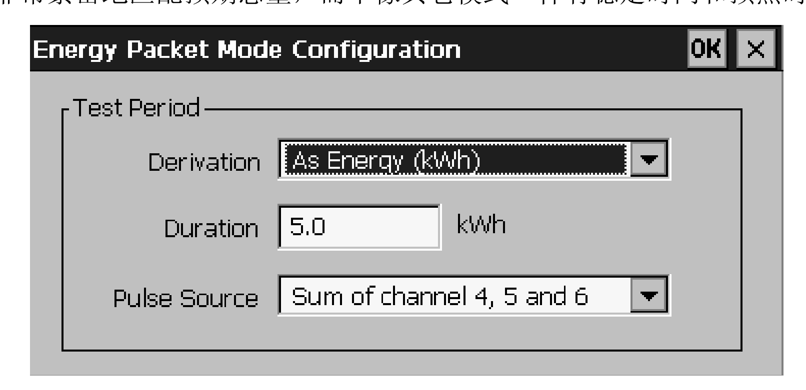


图8-7. 包模式的配置

在包模式下，当测试时间延长时，由于开关和稳定时间引起的误差的影响会降低。

附录
术语表

概述

术语表和 6100A 手册及参考文档中的常见缩写。

调整	调准或修正校准器的输出（或 UUT 指示），使其相对于规定技术指标的误差达到最小。
校准	按照确定的、形成文件的、可检验的程序，利用规定的和可溯源的标准对校准器（或 UUT）进行测量，确定校准器（UUT）的误差。在该过程中还包括按照“the ISO Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”（ISO 测量不确定应用指南）说明测量方法的不确定度。
通道	每一路输出（电压或电流）都是一个通道。一个电压通道和一个电流通道一起形成一相。
骤降	参考“电压骤降”。
失真	在波形中，任何相对于所需形状的稳态偏移。
EUT	被测设备（Equipment Under Test）
1 次谐波	波形的 1 次谐波就是其基波。注意，对于 6100A，波形的 1 次谐波的幅值可以为零。
闪变	电压在一定范围之内的重复性波动，会引起照明闪烁的现象。

调制	波形的幅值变化，它并不改变波形中的谐波成分或相位关系。
谐波	为基波整数倍的频率分量
IEC 61868	闪变严重程度的评估
IEC 61000-3-2	谐波电流发射限值 (设备的输入电流 <= 16A /相)
IEC 61000-3-3	公共低压供电系统中电压变化、电压波动和闪变的限值（设备电流<= 16A/相）
IEC 61000-4-7	谐波和谐间波的测量
IEC 61000-4-11	电压骤降、短期波动和电压失真
IEC 61000-4-14	电压波动抗扰度试验
IEC 61000-4-15	闪变仪功能设计规范
IEC 61000-4-30 (草案)	
谐间波	一个周期量（交流波形）的频率分量，但该频率分量不是系统工作频率的整数倍。
中断	对于单相电压，如果真有效值(1/2)值低于参考电压的 10%，则发生了中断；在三相系统中，中断指的是所有相都同时低于 10%。
测量不确定度	在本文件中，测量不确定度指的是由于测量设备的分辨率以及“噪声”引起的指示的随机性而产生的不确定度。
MUT	被测电能表——Meter Under Test（用在“电能选件”一章中）。
标称电压	标称电压为参考电压
相	一相是一个电压通道和一个电流通道的组合。相被表示为 L1、L2 和 L3。L1 是多相系统中的基本相位。零相被表示为 N。
相位角	相位角是两个相同频率或一个频率是另一个频率整数倍的交流波形上两个相应点之间的相位差。
Pst	短期闪变指标。Pst = 1 是常规的过敏性门限。
参考通道	参考通道为 L1 电压。
参考电压	参考电压是用于确定骤降深度和骤升高度的电压。

真有效值电压波形	真有效值电压变化的时间函数，将源电压过零点之间的半个周期估算为一个单一值。
真有效值(1/2)	实际的瞬时真有效值电压：在一个严格的周期内测得的真有效值电压，并每半个周期进行刷新的电压值。
凹陷	参见电压骤降
短时中断	电源电压在很短的时间周期内消失，一般不超过1分钟。
骤升	参见电压骤升
THD	总谐波失真（Total Harmonic Distortion）
总谐波电流	谐波电流分量的总真有效值。
电压骤降	电气系统的某点上电压突然降低，在非常短的时间周期后电压又马上恢复的现象，时间周期一般从半个周期到几秒钟。
电压波动	真有效值电压的一系列变化，将源电压过零点之间的半个周期估算为一个单一值。
电压骤升	电气系统的某点上电压突然增大，在非常短的时间周期后电压又马上恢复的现象，时间周期一般从半个周期到几秒钟